ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

---

VOLUMEN XV Abril 1956 NUMERO 58

SUMARIO

Editorial: Problemas de la vulgarización científica 59

530.145
La mecánica quántica y el sentido común — A. LANDÉ — 61

591.58:595.7
El canto del insecto — J. W. S. PRINGLE — 68

545.844:542.48
La cromatografía gas-líquido — A. T. JAMES — 73

591.313:593.95
Espermatozoos del erizo de mar — LORD ROTHSCHILD — 79

535.22.08
La velocidad de la luz — L. ESSEN — 87

92:54
Una familia de grandes químicos orgánicos: los Perkin — SIR ROBERT ROBINSON — 92

049.3
Revista de libros 103

Libros recibidos 111

Notas sobre los colaboradores 112

Redactor-jefe: TREVOR I. WILLIAMS
Ediciones extranjeras: J. A. WILCKEN

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Problemas de la vulgarización científica

Es evidente que en las circunstancias actuales existe la necesidad de que el público general posea suficiente comprensión de la ciencia en su más amplio sentido, de su disciplina y métodos, sus resultados y aplicaciones, sus promesas y peligros, su organización y sus oficiantes. Tal propósito nos parece laudable; pero también nos parece peligroso propagar la creencia de que el éxito de una campaña tal de popularización no encontraría límites.

En este terreno, como en toda forma de comunicación de conocimientos, la claridad de expresión tiene suprema importancia. Es indiscutible que los hombres de ciencia tienen mucho que aprender, no sólo para expresar sus nociones al profano, sino también para comunicarlas a otro científico. Sin embargo, aun el más lúcido pensador encuentra obstáculos cuando quiere comunicar sus ideas a una mente no preparada y—como a menudo sucede — refractaria. Esto se aplica a todas las actividades humanas complejas, siendo curioso que mientras se reconoce y admite en otras esferas tal dificultad, se olvida muy a menudo cuando se habla de popularizar la ciencia. Quizás sea útil aplicar aquí una analogía con un juego antiguo y ampliamente extendido: el ajedrez. Todo el mundo sabe que lo que en él conduce a la victoria es la habilidad y perseverancia del jugador; pero nadie se atrevería a sugerir que una persona que no conozca siquiera los movimientos de las piezas podría apreciar los riesgos de determinada situación, el punto preciso en el que la partida se torna en favor de uno u otro contendiente, el espíritu mismo del juego y todas las bellezas que en él se encierran y que sólo pueden gustarse tras muchos años de práctica y estudio. Esa es una verdad reconocida por todos los diarios y revistas que publican secciones de ajedrez: el estilo y lenguaje de sus crónicas son los adecuados para impartir la máxima información posible al iniciado, sin pretender en absoluto ponerse al alcance del ignorante en tales cuestiones. Lo cual no significa, como es natural, que no se pueda escribir un artículo interesante sobre el ajedrez, destinado al público general; pero en ese caso sería preciso subrayar aquellos aspectos del juego que puedan ser interesantes y comprensibles a un público muy amplio: el resultado mismo de la partida, las características de los jugadores, o algunas partidas famosas por su brillo o dramatismo. Pero, ¿ quién se atrevería a afirmar que un artículo así puede mostrar al lector dónde reside el profundo interés que el juego tiene para los que lo dominan, o por medio de qué complejas tácticas se puede alcanzar la victoria?

Podríamos señalar numerosas analogías de este tipo. ¿Será capaz de justipreciar las sutilezas de un complejo razonamiento jurídico quien no haya, en cierto modo, estudiado derecho? Reconozcamos también aquí, con todo, que hay determinados aspectos de tales materias que toda persona que posea una inteligencia suficientemente flexible puede llegar a dominar en el escaso tiempo que nos es dado dedicar a estudios no relacionados con nuestra cotidiana esfera de intereses: lo mismo puede decirse de la popularización de la ciencia. También es verdad que ciertos aspectos de la ciencia deben continuar siendo un libro cerrado para el profano, y ello casi por definición. Pues cuando el profano alcanzara a comprender esos aspectos, dejaría por ello de serlo y podría llamarse a sí mismo «un científico», sin que importe en lo más mínimo que haya conseguido semejante resultado gracias a sus estudios en una institución o por medio de una labor autodidáctica. Es ése un hecho que reconocen los más brillantes vulgarizadores de la ciencia, y por eso su propósito no ha sido nunca explicar el conjunto todo de la ciencia, sino sólo aquellas facetas que pueden presentarse inteligible, amena y brevemente al lector ordinario.

En general, todo tema poco conocido, ya sea científico o no, es entendido por el lector únicamente en tanto que éste sea capaz de relacionarlo a sus propios conocimientos y experiencia. Puede así apreciar las líneas generales de numerosos descubrimientos científicos de importancia y comprender las consecuencias en la vida cotidiana de la general aplicación de los mismos. Parece que, quiérase o no, la única solución posible ante los problemas que plantea una población mundial en rápido proceso de crecimiento y que reclama un más elevado nivel de vida, es un más acusado progreso tecnológico. Para conseguirlo es esencial disponer de los métodos más rápidos y eficaces para la diseminación de los conocimientos técnicos, ya que las necesarias decisiones sobre la política a seguir corresponden aún a mentes no científicas.

Hasta en las facetas puramente factuales de la ciencia encontramos numerosos e importantes descubrimientos que es virtualmente imposible describir al profano, como no sea de la manera más superficial, tan remotos están de su experiencia y hábitos mentales. Así, no es mero accidente el

que, si bien son generalmente conocidas las aplicaciones más importantes de la química — parte integrante ya de la vida de todos los días —, el vulgarizador científico apenas ha hollado el dominio de la química teórica. Ni la elegancia de una ingeniosa síntesis orgánica, ni los problemas de la dinámica de una reacción compleja pueden comunicarse a quienes no posean ciertos conocimientos previos. El público quizás acepte, si se quiere, el hecho de que la determinación de la fórmula de la Vitamina B_{12} es un acontecimiento importante, pero no puede vislumbrar en qué reside verdaderamente esa importancia.

Hay además otras barreras para la comprensión popular. La ciencia no sería una dedicación absorbente si se redujese a la mera colección de datos y a su aplicación a fines prácticos. Pero eso no es, respectivamente, sino el comienzo y el fin de un complejo proceso; para que esos datos sean manejables deben ajustarse al rígido armazón de unas leyes generales, de las que a su vez pueden derivarse otros datos. Las aplicaciones prácticas exigen invariablemente la solución de problemas de apenas menor dificultad — y muchas veces, en verdad, más difíciles — que las que entrañaba el descubrimiento original. Es preciso, además, tener en cuenta numerosos factores de orden no material: la imaginación que prevee las consecuencias de ciertos hechos, el placer intelectual que es móvil de la mente que persigue el puro conocimiento, la satisfacción que nace de un impulso creador. ¿No será demasiado optimista creer que la simple claridad de expresión habrá de bastar para hacer comprender al profano las sutilísimas interrelaciones de lo material y lo abstracto que forman la fábrica toda de la ciencia moderna? Y, ¿cuánto tiempo podrá dedicar nuestro profano a la lectura de tales materias? En el mejor de los casos, sólo el suficiente para permitirle rozar, y no más, su superficie: el científico mismo apenas puede dedicarse a una mínima parcela del amplio reino de la ciencia.

Es pues fácil, al hablar de la vulgarización científica, tomar la parte por el todo y suponer que la vasta producción actual de obras de popularización se refiere a todos los aspectos de la actividad científica. Es éste un lado del problema que tiene más que un mero interés teórico, pues encierra repercusiones prácticas. Afortunada o desgraciadamente, los científicos representan un papel de creciente importancia en las cuestiones de nuestro mundo, en el cual la ciencia no parece encontrar límites en su labor de creación de progresos materiales. Por otra parte, tampoco es sorprendente hallar en muchas mentes la sospecha y el temor de los graves daños que pueda causar la ciencia, pues el progreso científico puede ser causa tanto de grandes bienes como de grandes males. Es evidente — y así se reconoce en todos los círculos científicos — que la mayoría de los hombres de ciencia dedican sus esfuerzos al servicio de la humanidad; pero sería también menguada ceguera creer que todo el mundo piensa lo mismo. Y nada dañaría tanto las buenas relaciones entre los científicos y el público que la sospecha general de que aquéllos ocultan deliberadamente sus actividades y conocimientos detrás de la cortina de un lenguaje esotérico y oscuro que sólo otro de los confabulados puede comprender. Mucho más útil y realista sería enseñar al hombre de la calle que la ciencia es una disciplina que exige paciente dedicación, y que si realmente desea comprender y conocer de ella algo más que sus resultados y aplicaciones, le será necesario entregarse a un serio estudio.

En los años futuros, el mundo buscará más y más en la ciencia la solución de los graves problemas materiales con que se enfrenta. Y la ciencia se entregará plenamente a esa labor; pero sería equivocado creer que no ha de haber también grandes desilusiones. Tanto más graves cuanto más extendida esté la noción de que la ciencia es, en el fondo, cosa bastante simple, pues entonces habrá quien piense que los fracasos se deben, no a las dificultades intrínsecas de los problemas mismos, sino a la indiferencia del científico, o — peor aún — a su preocupación por investigaciones de carácter más siniestro. Uno de los factores que limita la ayuda de la ciencia a la humanidad se halla en el número de personas que pueden y quieren dedicar tiempo y esfuerzo a la adquisición de los conocimientos necesarios para sus propósitos. Lo cual se aplica no sólo a la ciencia, sino a todo tipo de saber: el conocimiento superficial no será nunca un sustitutivo eficaz del auténtico saber. Y es fácil olvidar que la solución de algunos de nuestros más urgentes problemas depende, no de la ciencia, sino de los científicos.

La mecánica quántica y el sentido común

ALFRED LANDÉ

Se ha desarrollado gradualmente la creencia de que las reglas quánticas son tan fundamentales que deben ser consideradas como axiomáticas y de imposible explicación a base de conceptos generales. Este artículo muestra que es innecesaria una actitud tan pesimista y que se puede lograr una comprensión de los conceptos de mecánica quántica a partir de un enfoque lógico del problema, enfoque basado en la hipótesis fundamental de la continuidad de causa y efecto.

La mecánica quántica tiene fama de ser ininteligible para todo el mundo, excepto para un grupo selecto de físicos teóricos instruídos en complejas técnicas matemáticas y entrenados en el arte de razonar en abstracto. Esta fama es aún realzada por el extraño dualismo entre las manifestaciones corpuscular y ondulatoria de la materia, por la incertidumbre en lugar del determinismo del eslabonamiento causal y por una complementariedad que nos impide formar una imagen definida del mundo microfísico y exige, en cambio, que nos conformemos con un formalismo matemático, capaz de abarcar una variedad de fenómenos de carácter aparentemente contradictorio. Cuando penetramos más profundamente en el núcleo de la teoría quántica, nos enfrentamos con hipótesis revolucionarias, hoy día cristalizadas en axiomas, tales como la regla del oscilador de Planck, $E = h\nu$, o las modernas prescripciones quánticas de Schrödinger y Born-Heisenberg, «que encierran ideas extrañas y algunos procesos de cálculo que no pueden ser entendidos en detalle» [2]. Se espera que el principiante acepte las reglas quánticas «porque son efectivas»; más tarde, después de haberlas utilizado durante años, puede incluso olvidarse de su carácter problemático. O, si conserva una actitud abierta y objetiva, puede muy bien estar de acuerdo con Bridgman [1] en que «cuando avanzamos suficientemente en la dirección de lo muy pequeño, la teoría quántica nos dice que nuestras formas de pensamiento fallan, de tal modo que es dudoso incluso el que podamos pensar . . . Con el tiempo tendremos que encontrar mejores modos de pensar». Esta es una situación bastante descorazonadora después de venticinco años de dualismo, incertidumbre y complementariedad. ¿Tendremos que conformarnos para siempre con un conjunto de reglas formalistas ininteligibles, que da la casualidad de que son útiles?, o ¿será posible concebir la teoría quántica como una manifestación de principios físicos simples?

A estos efectos Bridgman ha introducido una nota esperanzadora en el artículo citado:

> «Creo que ahora los expertos estarán de acuerdo en que cualquiera que sea el nuevo modo de pensar que establezcamos para el universo microscópico, el significado de nuestros nuevos conceptos tendrá que encontrarse en la escala de los sucesos macroscópicos de la vida ordinaria, porque ésta es la escala en que vivimos, y somos precisamente nosotros quienes formulamos los nuevos conceptos. Creo que este reconocimiento y esta concordancia entrañan una consecuencia que no es apreciada comunmente, a saber: que la semilla y el origen de la ineptitud de nuestro pensamiento en el mundo microscópico están ya contenidos en nuestra forma ordinaria de pensar en el mundo macroscópico y deberían poder ser descubiertos mediante un análisis suficientemente agudo de nuestro pensamiento ordinario».

Estas son, verdaderamente, palabras proféticas; hasta cierto punto, la profecía ha sido ya realizada, como este artículo intenta demostrar. Se puede lograr una inteligencia de los enigmas — ahora dogmas — de la mecánica quántica si se aborda el problema con sentido común, lo cual pudo muy bien haberse logrado desde que Schrödinger, Born y Heisenberg consiguieron organizar en una estructura consistente las incoherentes reglas quánticas de la teoría primitiva. Pero el camino hacia esa inteligencia quedó obstaculizado por el desarrollo histórico, que derivó su ímpetu más bien de las discrepancias espectaculares entre la observación de los fenómenos microscópicos y las previsiones de la teoría clásica que de un análisis crítico de los errores intrínsecos de dicha teoría. Con la única excepción del principio de correspondencia de Bohr, siempre se ha subrayado lo dramático y revolucionario, y así tenía que ser para justificar la ruptura con la tradición newtoniana. Finalmente, parecía que todo se

concentraba en la ecuación de Schrödinger, hoy colocada en el umbral de la teoría quántica. Lo cual es como iniciar el estudio del electromagnetismo con las ecuaciones de Maxwell-Lorentz en vez de con imanes móviles y bobinas de alambre, o de la mecánica con $E = mc^2$ en vez de manzanas que caen y candelabros oscilantes.

Otro obstáculo en la búsqueda de un simple enfoque de la teoría quántica ha sido la doctrina filosófica actual de que la tarea de la física es encontrar una descripción racional de las relaciones entre fenómenos, y que es estéril la búsqueda de una explicación. Aunque esto puede ser verdadero en última instancia, muy difícilmente puede decirse que la teoría quántica moderna se halla en condiciones de representar los principios últimos e irreductibles. Aceptar dualidad, incertidumbre y complementariedad como intocables artículos de fe pudo tener sus ventajas al principio, cuando los físicos estaban buscando a tientas un terreno firme sobre el que edificar. Pero persistir en esta actitud es estéril a largo plazo y peligrosamente cercano a la escolástica medieval. El conocimiento fundamental no ha realizado nunca progreso alguno en las épocas en que el retorno al sentido común — recomendado por Bridgman, de Broglie, Einstein y Schrödinger — haya sido recibido con una sonrisa de condescendencia ante tamaña ingenuidad.

El presente intento de un «análisis agudo de nuestro pensamiento ordinario» partirá de consideraciones que a primera vista parecen tener poco que ver con la mecánica quántica, puesto que ni siquiera contienen mención alguna de la constante h de Planck. Tratan más bien de aprovechar una experiencia común, a saber: el hecho fundamental de que el efecto debe ser una función continua de la causa, o de que una causa infinitesimal nunca puede producir un efecto finito. Nuestra intención es demostrar que tal continuidad de causa y efecto, que es una experiencia común, implica que en una escala microscópica deben ocurrir sucesos discontinuos, que son controlados por la probabilidad más bien que por encadenamientos de causa-efecto (*Vid.* Sección I). Surge entonces la pregunta de si existen quizá leyes definidas que relacionen, al menos, grupos estadísticos de sucesos, ya que no a éstos aislados. Pero, además, tales grupos sólo están relacionados vagamente, sin que existan relaciones unívocas entre las probabilidades de varios sucesos. En vez de tratar de formular relaciones ambiguas mediante probabilidades definidas, es conveniente introducir primero unas «amplitudes de probabilidad», ψ, definidas ambiguamente, que no son sino vectores que dan una dirección a las transiciones de un estado a otros, y están interrelacionados por una ley bien definida (*Vid.* Sección II). Esperamos hacer inteligibles los puntos esenciales de estas consideraciones mediante una analogía geométrica familiar, y levantar así el telon de misterio que ha velado siempre las ψ, a causa de que acostumbradamente se representan mediante símbolos complejos.

Las Secciones I y II presentan un esquema fundamental, pero vacío, de relaciones formales entre probabilidades, que debe ser llenado con una materia concreta, a saber: con la teoría dinámica de los sistemas mecánicos reales, que poseen energía, cantidad de movimiento y una posición en el espacio y en el tiempo. Es ahí precisamente cuando hace su aparición el quantum elemental h (Sección III). La constante de Planck fué introducida en primer lugar en la teoría de la radiación mediante la regla del oscilador, $E = h\nu$, después en la quantificación de las órbitas de Bohr y, finalmente, en las prescripciones quánticas perfeccionadas de Schrödinger, Born y Heisenberg. Pero todas esas reglas fueron inventadas *ad hoc*, con el propósito de establecer una relación periódica fundamental entre la energía y el tiempo, y entre la cantidad de movimiento y las coordenadas espaciales. Esta periodicidad ha sido siempre, y es todavía, la característica más enigmática de la micromecánica, aunque los expertos, después de muchos años de usarla diariamente, parecen haber olvidado su carácter altamente problemático.

I. TRANSICIONES ENTRE ESTADOS

Partimos de un análisis del contraste entre igualdad y desigualdad de objetos físicos. Imagínense dos gases, compuestos de la misma clase de partículas. Las del gas A pueden tener forma esférica; las del gas B pueden estar deformadas en elipsoides. Estos dos gases, ¿son iguales o desiguales? Mejor: ¿son distinguibles o indistinguibles? Aún más realistamente: ¿son separables o inseparables mediante algún medio selectivo, suponiendo que se hayan mezclado previamente? La respuesta prevista será: Cuando $A = B$, o, en nuestro caso, cuando los elipsoides degeneran en esferas, entonces A y B son indistinguibles e inseparables. Pero cuando A difiere físicamente de B incluso en un grado ínfimo, entonces son desiguales y separables, al menos en teoría. Sin embargo, esta respuesta está en serio desacuerdo con la experiencia general de que el efecto es una

función continua de la causa. En efecto, imagínese un medio selectivo — llamémosle un filtro de A que permite el paso de las partículas A e impide el de las B. Supóngase también que se disminuye gradualmente la diferencia entre A y B; el filtro bloquea todavía las partículas B. Pero en el momento en que B se hace exactamente igual a A, entonces, bruscamente, el filtro de A dejará pasar todas las B. Esto es, una causa infinitamente pequeña: la transición de una diferencia ínfima entre A y B a una diferencia exactamente nula tendría un efecto finito: el cambio de no pasar ninguna partícula B a través del filtro a pasar todas. Uno siente intuitivamente que un cambio tan brusco del efecto es «afísico», que no pueden existir en la naturaleza filtros que discriminen de un modo tan decisivo entre lo ínfimo y lo exactamente nulo. Gibbs, hacia 1880, señaló las serias dificultades que tales filtros originarían en el dominio de la termodinámica (segundo principio). Pero Gibbs no dedujo la conclusión positiva que le habría llevado a las puertas de la mecánica quántica, de que por consiguiente debe existir una continuidad de casos intermedios entre $B = A$, caso en el que todas las B pasan a través del filtro, y $B \neq A$, caso en el que todas las B son bloqueadas por el mismo filtro. Mejor dicho, debe existir una continuidad de posibles estados B de una «igualdad fraccionaria» con A, representado por $B \sim A$, tales que ni todas las partículas B pasan, ni son todas bloqueadas por el filtro. $B \sim A$ significa que una cierta fracción estadística de las B pasará y la fracción restante quedará bloqueada por el filtro. Este es el único modo de establecer continuidad entre bloqueo absoluto y el caso en el que todas las partículas pasan, cuando el estado B se convierte gradualmente en el caso $B = A$, evitando así la paradoja termodinámica de Gibbs.

Los dos casos límites $B = A$ y $B \neq A$ (este último representado también por $B =$ no-A o $B = \bar{A}$) aparecen ilustrados en las Figs. 1(a) y 1(b); el caso intermedio $B \sim A$, en la Fig. 1(c). Puede tomarse la fracción estadística P que pasa en el último caso como la definición operacional de la

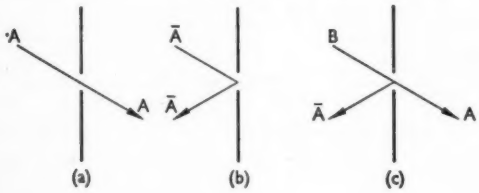


FIGURA 1

igualdad fraccionaria entre los estados A y B. La misma fracción P que pasa representa pues la probabilidad fraccionaria de que una partícula individual B pase, y $1 - P$ la probabilidad fraccionasica de que B sea rechazada.

Sin apelar a hipótesis *ad hoc* y sin utilizar pruebas microfísicas, sino únicamente basándonos en el postulado de la continuidad de causa y efecto, hemos pues llegado a la doctrina fundamental de la teoría quántica: que debe haber estados de un sistema mecánico intermedios entre A y no-$A = \bar{A}$, tales que un filtro de A, ni dejará pasar todas las B ni las rechazará todas, sino que transmitirá o rechazará B de acuerdo con el cociente de probabilidades $P/(1 - P)$.

Es plausible suponer que aquellas partículas que, por haber pasado el filtro se comportan como si estuvieran en el estado A, realmente *están* en el estado A; esto es, en contacto con el filtro deben haber efectuado una transición desde su estado original B al nuevo estado A. De un modo semejante, aquellas partículas B que han sido rechazadas por el filtro como si estuvieran en el estado $\bar{A}$, deben haber «saltado» de B a $\bar{A}$ en el momento de ser rechazadas (Fig. 1(c)). Desde luego sólo es plausible, y no irrefutable lógicamente, que hayan tenido lugar estas transiciones. Pero la probabilidad de esta conclusión se refuerza si consideramos que es difícil imaginar otra forma de satisfacer el principio de continuidad: la Fig. 1(c) representa los casos intermedios entre los casos límites de las Figs. 1(a) y 1(b). La fracción de partículas B que pasa a través de un filtro de A (Fig. 1(c)) se convierte entonces en la probabilidad de transición del estado original B al nuevo estado A, en contacto con el filtro. Representamos esta probabilidad por $P(B \rightarrow A)$, o, en breve, $P(B, A)$. Los requisitos del equilibrio termodinámico exigen que $P(B, A)$ sea igual a $P(A, B)$. Esta simetría de las fracciones que pasan y de las probabilidades de transición es una característica importante de la teoría quántica.

Consideremos un ejemplo. Representemos por X la posición de una partícula en un elemento de pequeño volumen que rodea un cierto punto del espacio, y sea Y un cierto valor de la energía de la misma partícula, por ejemplo el electrón de un átomo de hidrógeno. Supóngase que se sabe que el electrón está en el estado de energía Y, y ahora se trata de ver lo que le ocurre a la partícula mediante un dispositivo que tiene un orificio (hablando simbólicamente) en la posición X. La partícula «pasará» con una probabilidad P y será bloqueada con una probabilidad $1 - P$.

Otro caso interesante es cuando X es el estado de orientación paralelo al eje z de un átomo de plata, el filtro de A es entonces un campo magnético no homogéneo en la dirección z', que forma un cierto ángulo con la dirección z. Este «filtro» de Stern y Gerlach obliga a los átomos incidentes a elegir o bien la orientación $+ z'$ y pasar, o bien la orientación $- z'$ y no pasar, esto es, ser rechazados en una dirección diferente, de tal forma que se separa a los átomos en los nuevos estados $+ z'$ y $- z'$.

Debería decirse bastante más acerca de estos dispositivos seleccionadores o filtros y acerca de los diversos estados; se supone que los últimos son siempre estados bien definidos. Por ejemplo, el que una partícula esté en (x, y, z) no es un estado de posición bien definido, pero que esté en (x, y, z) en un instante determinado t, sí lo es. La mayoría de estas pruebas con filtros son experimentos imaginarios de muy difícil realización directa; la importancia del experimento de Stern-Gerlach fué que suministró la primera confirmación directa de la existencia real de estados quánticos diferentes y su relación estadística.

En general, un estado está en una relación de igualdad fraccionaria ($0 < P < 1$) con otros estados; los casos de desigualdad total ($P = 0$) son una excepción. Puede utilizarse este hecho para establecer un cierto orden en el caos de todos los estados (bien definidos) de un sistema mecánico: de un conjunto indiscriminado de estados podemos entresacar un grupo de ellos, representados por $A_1A_2A_3 \ldots$ que son muy diferentes entre sí, o sea separables mediante filtros, o, utilizando la expresión técnica, que son mutuamente ortogonales. De entre los estados restantes podemos entresacar otro grupo de estados mutuamente ortogonales $B_1B_2B_3 \ldots$, después otro $C_1C_2C_3 \ldots$, y así sucesivamente hasta que todos los estados del sistema mecánico queden distribuídos en grupos ortogonales:

$$\left.\begin{array}{l}\text{grupo } A\text{: } A_1A_2A_3 \ldots \\ \text{grupo } B\text{: } B_1B_2B_3 \ldots\end{array}\right\} \ldots\ldots (1a)$$

y así sucesivamente. Mientras que un estado A_k es completamente diferente (separable) de cualquier otro estado del mismo grupo A, hay igualdades fraccionarias $P(A_k,B_j) < 1$ entre los estados del grupo A y los del grupo B, medibles como probabilidades de transición en experimentos estadísticos con filtros. La Tabla siguiente contiene una lista de las fracciones que pasan, o probabilidades de transición entre los estados de los grupos A y B:

$$\begin{Bmatrix} P(A_1,B_1) & P(A_1,B_2) & P(A_1,B_3) \ldots \\ P(A_2,B_1) & P(A_2,B_2) & P(A_2,B_3) \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots \quad \ldots \end{Bmatrix} \ldots (1b)$$

$$\text{en breve} = \{P(A,B)\}$$

Se pueden escribir tablas semejantes, o «matrices», para las probabilidades de transición de los estados A a C, de B a C y así sucesivamente.

Partiendo del postulado de continuidad, que requiere una escala continua de valores de igualdad entre estados, hemos avanzado rápidamente en la teoría general de transiciones controladas por probabilidades; hemos pues deducido la base de la teoría quántica. Evidentemente, partiendo de consideraciones de un carácter tan general no es posible obtener información acerca de las magnitudes exactas de las diversas probabilidades P mencionadas en las Tablas de P, ya que dependerán de una definición más precisa de los estados A y B en términos físicos.

II. AMPLITUDES DE PROBABILIDAD

De las probabilidades pasamos ahora a esas amplitudes de probabilidad que han representado un escollo para la comprensión de la teoría quántica moderna y que son consideradas como un fantasma que produce manifestaciones materiales [2]. Sin embargo, una simple analogía geométrica puede conducirnos a una mejor inteligencia de esta materia.

Considérese un triángulo ABC del que conocemos sólo dos lados: P_{AB} y P_{BC}. Estos no determinan la longitud del tercer lado P_{AC}, puesto que ésta depende también del ángulo entre aquéllos. Sin embargo, aunque no existe ninguna relación general definida entre los tres lados de un triángulo, sí existe una relación vaga. En particular, el tercer lado no puede ser nunca mayor que la suma de los otros dos:

$$P_{AC} \leqslant P_{AB} + P_{BC} \ldots\ldots\ldots\ldots (11a)$$

Esta desigualdad triangular determina la relación métrica entre los puntos, A, B, C sólo de una manera vaga. Por ejemplo, la relación exacta

$$P_{AC} = (P^2_{AB} + P^2_{BC} - 2P_{AB}P_{BC} \cos \beta)^{\frac{1}{2}}$$

es multívoca a causa del ángulo β, que es arbitrario. Cuando los puntos han de estar en línea recta, entonces $P_{AC} = | P_{AB} \pm P_{BC} |$ es una función bívoca; lo mismo sucede cuando los puntos están sobre una circunferencia dada. Sin embargo, con o sin estas restricciones podemos reemplazar la desigualdad general (11a) existente entre las magnitudes P por una ecuación entre ciertas magnitudes ψ, definidas menos precisamente, en la forma

siguiente: a cada longitud $P_{AB} = P_{BA}$ asóciese un vector $\psi_{AB} = -\psi_{BA}$ de módulo $|\psi| = P$ y dirección arbitraria. Ajústense las direcciones en cada triángulo de tal forma que los vectores satisfagan el teorema de adición:

$$\psi_{AC} = \psi_{AB} + \psi_{BC} \quad \ldots\ldots\ldots (\text{II}b)$$

Esta ecuación vectorial es una relación formal y general. Por ejemplo, se puede reemplazar el punto intermedio B por cualquier otro punto D. Pero el hecho de que se pueda escribir y utilizar la ecuación vectorial (II*b*) no añade ninguna luz a las relaciones geométricas que no fueran conocidas antes: los geómetras, desde Pitágoras a Riemann, han hecho sus descubrimientos sin utilizar explícitamente el teorema (II*b*) de adición de vectores. No lo necesitaron, puesto que está implícito en la geometría de distancias. Las reglas vectoriales son formulaciones elegantes, no nuevos descubrimientos geométricos, y mucho menos representan nuevas leyes físicas. Por cierto, si los puntos A, B, C . . ., y por tanto los vectores, están todos en el mismo plano, se pueden entonces representar los últimos mediante el símbolo complejo $\psi = |\psi| e^{i\varphi}$, donde φ es el ángulo de dirección; pero esto no implica que los vectores sean magnitudes complejas.

Volvamos ahora a las probabilidades de transición P, clasificadas en la Tabla $\{P(A,B)\}$ y en Tablas semejantes $\{P(A,C)\}$, $\{P(B,C)\}$, y así sucesivamente. Las probabilidades P satisfacen la desigualdad general

$$P(A_k,B_j) < 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (\text{II}c)$$

y obedecen las relaciones especiales

$$\begin{aligned} P(A_k,A_{k'}) &= 0 \text{ cuando } k \neq k' \quad \ldots (\text{II}d) \\ &= 1 \text{ cuando } k = k' \end{aligned}$$

que caracterizan a los miembros del grupo A como mutuamente ortogonales, o estados separables. Las P satisfacen también la regla de que las sumas siguientes son la unidad

$$\Sigma_j P(A_k,B_j) = 1 \quad \text{y} \quad \Sigma_k P(A_k,B_j) = 1 \ldots (\text{II}e)$$

Partiendo del problema geométrico, se puede preguntar si existe una relación o ecuación general entre las P que aparecen en $\{P(A,B)\}$, $\{P(B,C)\}$ y $\{P(A,C)\}$. Esta relación debe tener una forma tal que la regla general de adición (II*e*) quede satisfecha por los elementos de la Tabla $\{P(A,C)\}$ cuando es verificada por los de $\{P(A,B)\}$ y $\{P(B,C)\}$. De hecho, es posible escribir una relación entre las tres Tablas de P que satisfaga automáticamente esta condición en la forma siguiente:

Asóciese a cada magnitud P un vector ψ, en este caso de módulo $\sqrt{P}$ y de dirección indefinida φ en un plano; dos vectores $\psi(A_k,B_j)$ y $\psi(B_j,A_k)$ tendrán ángulos de dirección φ y $-\varphi$ respectivamente, aunque los módulos correspondientes $\sqrt{P(A_k,B_j)}$ y $\sqrt{P(B_j,A_k)}$ sean iguales. Ajústense las direcciones de los vectores de tal forma que se satisfaga la siguiente regla de multiplicación:

$$\psi(A,C) = \psi(A,B) \times \psi(B,C) \quad \ldots (\text{II}f)$$

El signo de multiplicación $\times$ representa una multiplicación matricial, (II*f*) es pues una forma breve de

$$\psi(A_k,C_m) = \Sigma_j \psi(A_k,B_j)\psi(B_j,C_m) \quad \ldots (\text{II}g)$$

Puesto que todos los vectores ψ están en el mismo plano, podemos utilizar la notación compleja $\psi = |\psi| e^{i\varphi}$ y los productos de la derecha en (II*g*) se efectuarán de acuerdo con las reglas referentes a magnitudes complejas. Pero el punto esencial es el siguiente: de la misma forma que en geometría se puede reemplazar la relación vaga (II*a*) entre las longitudes P de los lados de un triángulo por una ecuación entre vectores, así también se puede reemplazar la relación vaga entre las tres Tablas $\{P\}$, expresada por el que las condiciones (II*e*) sean válidas para las tres, por una ecuación entre vectores cuyas direcciones son ajustadas de tal forma que satisfagan la regla de multiplicación matricial (II*f*) o (II*g*); esta última es conocida como regla de superposición de las ψ. Pero ni la adición de vectores de la geometría, ni la multiplicación de matrices o superposición de las amplitudes de probabilidad pueden ser consideradas como una ley nueva e independiente de la naturaleza, puesto que en ambos casos se supone de antemano la existencia de las relaciones vagas entre las cantidades P. Para un matemático, le parecen cosas naturales y no nuevos hechos independientes tanto la adición de vectores en un triángulo como el que los grupos de magnitudes (I*a*), caracterizados como ortogonales por las relaciones (II*d*) entre las P y que satisfacen las sumas (II*e*), puedan ser relacionados mediante transformaciones ortogonales unitarias, a saber, por las ecuaciones (II*f*, *g*) entre las ψ. Las últimas son únicamente una formulación elegante; están implícitas en la métrica general de las probabilidades reales. Pero debido al hábito de representar vectores en un plano mediante símbolos complejos, que es un lugar común en los problemas eléctricos prácticos, se ha extendido el mito de que hay algo misterioso acerca de esas magnitudes complejas ψ que, aunque son de una elusiva irrealidad, llevan de un modo casi mágico a resultados confirmados experimentalmente.

El estudiante obtendrá una confirmación en su creencia en la ininteligibilidad de la teoría quántica cuando, más adelante, se le diga que los principios de simetría que gobiernan la interacción entre partículas idénticas nos enfrentan con «cierto aspecto de gran contenido filosófico, más allá de la inteligencia de los físicos . . . quienes deben contentarse con aceptar las consecuencias sin esperar penetrar en el misterio que entrañan»: citamos otra vez a Lennard-Jones, cuyo trabajo condujo a las más valiosas penetraciones en esas mismas consecuencias. Pero es difícil ver por qué ha de estar más allá de la inteligencia de los físicos el que dos partículas iguales a y b formen un sistema en el que la probabilidad de encontrar a en x_1 y b en x_2 es la misma que la de encontrar a en x_2 y b en x_1. No es misterioso, sino natural, que partículas idénticas representen papeles simétricos cuando se trata de observarlas. Asumiendo esta simetría de la probabilidad observable, entonces se sigue que las amplitudes de probabilidad correspondientes han de ser o bien simétricas o bien antisimétricas; esto es, el vector ψ debe o bien permanecer en la misma dirección o bien cambiarla de φ a $-\varphi$, cuando a en x_1 y b en x_2 son reemplazadas por a en x_2 y b en x_1. Desde esta simetría de la probabilidad P se llega a resultados más avanzados tales como las fuerzas de resonancia entre partículas idénticas, el principio de exclusión de Pauli y el de acumulación de Bose (que desde este punto de vista no son principios sino consecuencias), las dos estadísticas quánticas y otros muchos fenómenos. Los principios de simetría son parte de la teoría general de relaciones de probabilidad, más general que la dinámica quántica de magnitudes conjugadas q y p dominada por el quantum elemental h.

III. DINAMICA QUANTICA

El marco estructural de la teoría, desarrollado en las secciones anteriores, no menciona siquiera la constante h. La constante de Planck aparece únicamente cuando se estudian estados bien definidos de sistemas mecánicos reales, caracterizados por diversos valores de las coordenadas q en tiempos diversos. La hipótesis original de Planck, $E = h\nu$, postulaba inevitablemente una relación periódica entre energía y tiempo. Más tarde Bohr, Sommerfeld y Wilson introdujeron las relaciones correspondientes entre una coordenada espacial q y su cantidad de movimiento conjugada p, iniciándose así la era de las órbitas quantificadas. Sin embargo, estas condiciones fueron introducidas como hipótesis *ad hoc* para explicar los fenómenos atómicos, y los físicos trataron con empeño de hallar razones de tan extraña periodicidad dentro del marco de la mecánica clásica. Unicamente después de que hubieron fallado todos los intentos en esta dirección, decidieron prudentemente que no era llegado el tiempo para una explicación de las reglas quánticas, por lo que éstas debían ser aceptadas como axiomáticas. Pero esta actitud, razonable como una solución pasajera, cristalizó en la creencia de que las reglas quánticas eran fundamentales, irreductibles a algo más elemental y que ni siquiera necesitaban una justificación ulterior. Después, en 1926, se encontraron reglas nuevas y mejores: la regla del operador de Schrödinger, $p = (h/2i\pi)\, \mathrm{d}/\mathrm{d}q$, y la regla de conmutación de Born, $qp - pq = h/2i\pi$. De nuevo estas reglas postulaban una relación periódica entre las coordenadas y sus cantidades de movimiento conjugadas, aunque en una forma más complicada que las prescripciones primitivas de Planck y Bohr. Pero esta periodicidad es todavía el enigma principal de la teoría quántica; todos los estudiantes quedan perplejos ante ella, y sólo cuando los expertos les dicen que no existe ninguna explicación posterior — ni la necesidad siquiera de esa explicación — se resignan a aceptar las reglas quánticas de periodicidad como un hecho. Sin embargo, no hay necesidad ninguna de tal actitud de resignación. En vez de introducir las reglas quánticas de Born y Schrödinger como hipótesis nuevas e independientes, suplementarias a la regla general de superposición de las ψ (IIg), esto es, en vez de introducir la mecánica ondulatoria de Schrödinger o la mecánica de matrices de Born y Heisenberg como axiomas, basándose en la evidencia microfísica, se puede demostrar que los postulados son consecuencias matemáticas de la regla general de superposición de las ψ (probabilidad métrica) aplicada al caso especial de las magnitudes q y p como conjugadas, si se define la condición de ser conjugado de la siguiente manera:

Imagínese un conjunto de muchas partículas independientes, todas en el mismo campo exterior de fuerza. Los valores iniciales de posición y de cantidad de movimiento q_0 y p_0 en el tiempo t_0 pueden variar de partícula a partícula, pero de tal forma que todos los valores iniciales (q_0,p_0) representen puntos dentro de una cierta región de volumen V_0 del total del espacio (q,p), o espacio de fase. En el transcurso del tiempo los diversos puntos (q,p) se moverán a otros lugares del espacio de fase, donde ocuparán otros volúmenes V en otros tiempos t. Las ecuaciones clásicas de movimiento dan el resultado simple, y sin embargo importante, de que los volúmenes V ocupados en

tiempos diferentes t son todos de las mismas dimensiones, $V = V_0 =$ constante. Este es el teorema de Liouville, muy conocido en mecánica clásica. Estadísticamente, en un intervalo largo de tiempo existe la misma probabilidad de que un miembro del conjunto de partículas esté en V_0 que de que esté en V, cuando $V = V_0$. En breve, existe una densidad de probabilidad constante en el espacio (q,p). Este resultado de mecánica estadística clásica es muy general; se cumple no sólo para partículas sino también para sistemas de partículas, átomos, moléculas y sistemas mecánicos en general. Es un resultado estadístico, aunque basado en ecuaciones deterministas de movimiento.

Pero aunque la mecánica determinista deba ser abandonada en favor de una teoría estadística (a fin de obtener la continuidad de causa y efecto, Sección I), la mecánica clásica no está totalmente equivocada. Lo más probable es que, en estas circunstancias, la característica de la mecánica clásica que ha de ser conservada en la nueva teoría estadística es el resultado estadístico de que la densidad de probabilidad en el espacio de fase (q,p) ha de ser constante. Esto es, lo mismo en mecánica clásica que en la nueva mecánica, dos magnitudes q y p pueden ser definidas como mutuamente conjugadas cuando posean una densidad constante de probabilidad en el espacio (q,p). A esto debe añadirse el hecho familiar de que únicamente tienen significado físico las diferencias de coordenadas y las diferencias de cantidad de movimiento, más bien que los valores absolutos q y p.

Si se aplica la regla de multiplicación de las ψ, de la Sección II, a las magnitudes conjugadas q y p, tal como han sido definidas antes, entonces tenemos la necesidad matemática [4] de que el vector $\psi(q,p)$ tenga un módulo constante para todos los valores de q y p, y que su ángulo de dirección deba variar proporcionalmente a q para una p dada, y en proporción a p para una q dada. Después de un giro de 360° encontramos de nuevo el vector original ψ, que es, pues, periódico en q y en p. Si representamos el vector ψ en notación compleja, el mismo resultado viene expresado así:

$$\psi(q,p) = \exp(2i\pi qp/\text{constante}) \ldots . \text{(IIIa)}$$

Este es el caso más simple de una función ondular de Schrödinger. Corrientemente se representa el denominador constante mediante la letra h, ya familiar.

El lector notará que ni la densidad constante de probabilidad en el espacio (q,p), ni la regla de multiplicación o superposición de las ψ presuponen ninguna periodicidad. Sólo cuando son aplicadas juntamente requieren que q y p aparezcan en la relación periódica de probabilidad (IIIa) con una longitud de onda $\lambda = h/p$. Se explica así la extraña periodicidad quántica; esto es, se la reduce a una sencilla base no quántica, casi de sentido común, en vez de referirla a los principios de dualidad y de complementariedad de origen misterioso. Desde luego, decidir qué es extraño y qué es de sentido común depende de un juicio personal. Después de todo, es muy simple escribir fórmulas tales como la regla del operador de Schrödinger o la regla de conmutación de Born; tan simple, que muchos han olvidado que la periodicidad de la teoría quántica tiene un carácter problemático.

BIBLIOGRAFIA

[1] BRIDGMAN, P. W., *Sci. Mon., N.Y.*, **79**, 32, 1954.
[2] LENNARD-JONES, J., *Ibid.*, **80**, 175, 1955.
[3] LANDÉ, A., «Foundations of Quantum Theory», Yale University Press, New Haven. 1955.
[4] *Idem. J. Phys. Radium*, **17**, 1, 1956; *Amer. J. Phys.*, **24**, 56, 1956.

El canto del insecto

J. W. S. PRINGLE

Los sonidos producidos por diferentes especies de insectos o por los miembros de una misma especie en distintos estados psicológicos, se caracterizan más bien por diferencias en la pauta de pulsaciones que en el tono, como acontece en los pájaros y mamíferos. La incapacidad del oído humano para distinguir este rasgo tan notable ha hecho que permanezca desconocida por largo tiempo la rica variedad de la música de los insectos; sin embargo, los modernos aparatos registradores han permitido su análisis en detalle.

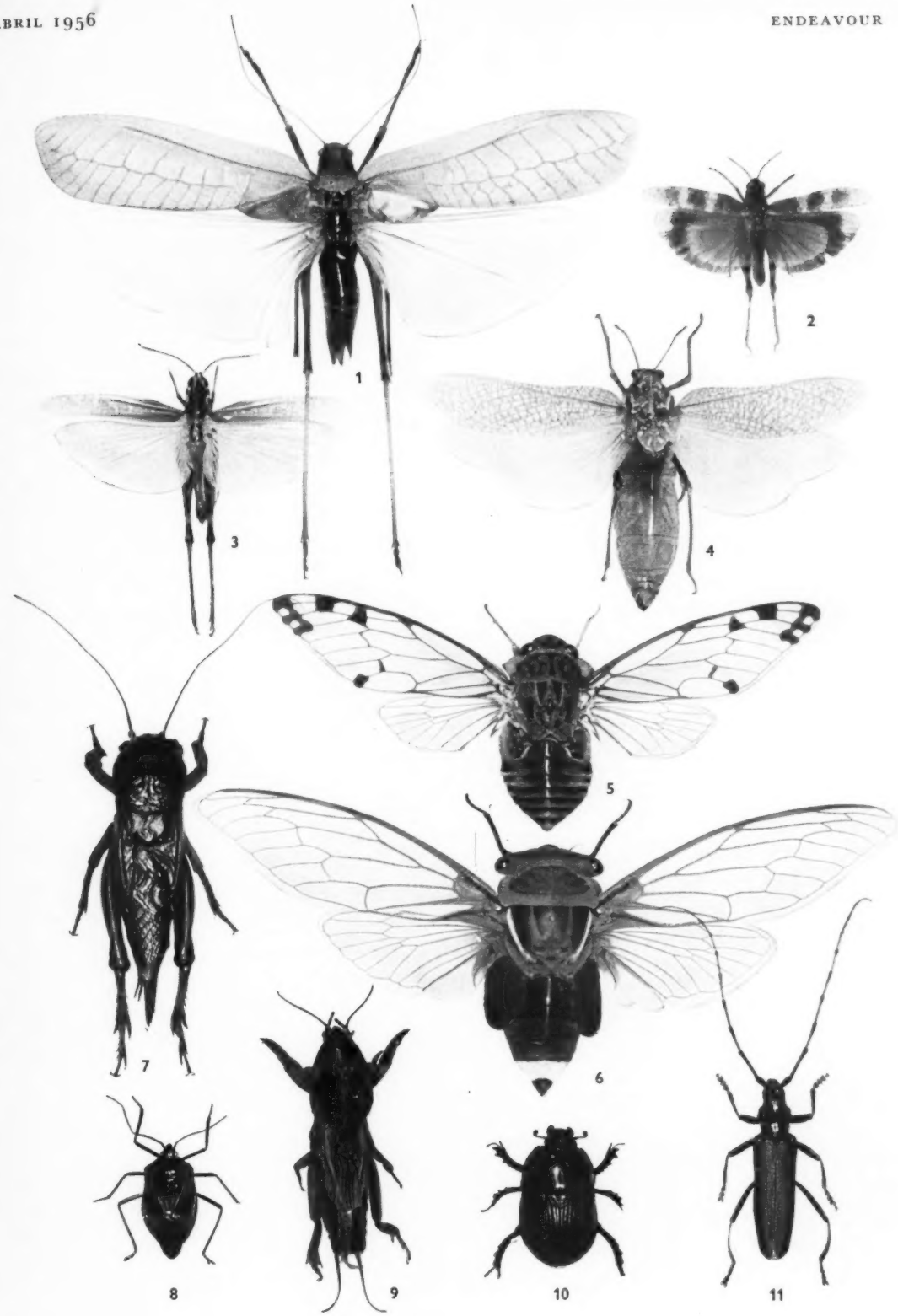
Rähaia es el nombre de la cigarra en idioma cingalés y significa «cien noches», originándose en la creencia de que los insectos cantan durante ese período de tiempo y luego revientan. El campesino muestra en los troncos de los árboles las cigarras que han sufrido tal suerte; allí están, en efecto, las *camisas* rotas de las crisálidas de las que se desprendió el adulto después de varios años de existencia subterránea. Una leyenda parecida se encuentra donde quiera que los insectos han conseguido llamar la atención del hombre por su capacidad de producir sonidos.

Tanto los esquemas del canto como los órganos más complicados para producir sonidos están relacionados con el apareamiento sexual. Siempre que el otro sexo posea órganos sensoriales capaces de percibir el sonido y determinar la dirección de su procedencia, es éste un medio adecuado para conseguir la aproximación de los insectos en el oportuno momento fisiológico; luego otros estímulos, visuales de ordinario, provocarán los movimientos de orientación y acoplamiento. Como en todos los animales a excepción del hombre, la producción de sonido es, por tanto, una indicación del «humor» del animal, de la combinación de estados internos que tienden a preparar al insecto para un acto determinado de conducta; el simbolismo abstracto característico del lenguaje humano [8], por lo que hasta el presente se conoce, no se encuentra en los sonidos del insecto. Otros humores o disposiciones, a más de los sexuales, pueden hallarse relacionados con la producción de sonidos. Esto se aplica principalmente a los ruidos de alarma, que pueden acobardar al animal atacante o servir de aviso a otros miembros de la especie; pero en los insectos, lo mismo que en los pájaros [4], los sonidos producidos en esas circunstancias tienden a ser más sencillos y menos específicos que los que se relacionan con el acoplamiento y por tanto carecen de la variedad.

En años recientes se ha progresado mucho en la comprensión no sólo del papel que representan los sonidos en el comportamiento de los insectos, sino también de los mecanismos físicos y fisiológicos que intervienen en la producción de dichos sonidos. En muchos aspectos, aquéllos difieren fundamentalmente del método empleado por otro grande grupo de animales terrestres: los Vertebrados. Los insectos carecen de conducto respiratorio capaz de producir una vibración pasiva en estructuras tales como las cuerdas vocales, cuyo funcionamiento es análogo al de la lengüeta de un clarinete. Sin embargo, el exoesqueleto de los insectos es duro y con los espacios aéreos traqueales internos proporciona un resonador capaz de transformar eficientemente la energía vibratoria en sonido. Cabe en lo posible que ello nos dé la clave para la comprensión de las raras anormalidades de evolución estructural encontradas en los insectos, ya que las vibraciones se producen fácilmente donde quiera que dos porciones del cuerpo se pongan en contacto, o donde haya un encorvamiento del esqueleto originado por la contracción de músculos insertos en el mismo. Los estudios comparativos de las cigarras y de varios grupos de ortópteros pueden sugerir un aviso posible de evolución del hábito de producir sonidos mediante la adición de un resonador a un mecanismo generador de vibraciones.

En la Fig. 1 aparecen ejemplares de algunos insectos chirriantes bien conocidos. Los números

FIGURA 1 – *Algunos insectos que producen sonidos.* (*Tamaño natural.*) (1) Anaedopoda lamellata (*L.*), *Tanganica.* (2) Oedopoda germanica (*Latr.*), *Europa.* (3) Scyllina picta (*Bruner*), *Sudamérica.* (4) Pneumora variolosa (*L.*), *Sudáfrica.* (5) Zammara smaragdina (*Walk.*), *Méjico.* (6) Thorpha sessiliba (*Dist.*), *Australia.* (7) Brachytrypes portentosus (*Licht.*), *India.* (8) Catacanthus violarius (*Stål.*), *Nueva Guinea.* (9) Gryllotalpa gryllotalpa (*L.*), *Europa.* (10) Geotrupes stercorarius (*L.*), *Gran Bretaña.* (11) Aromia moschata (*L.*), *Gran Bretaña.*


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

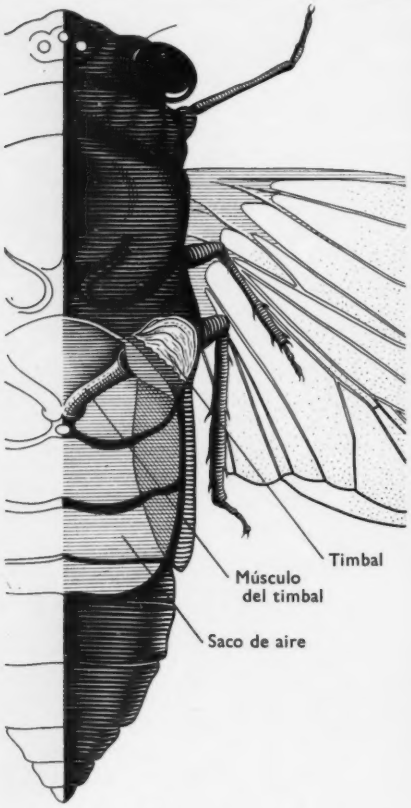
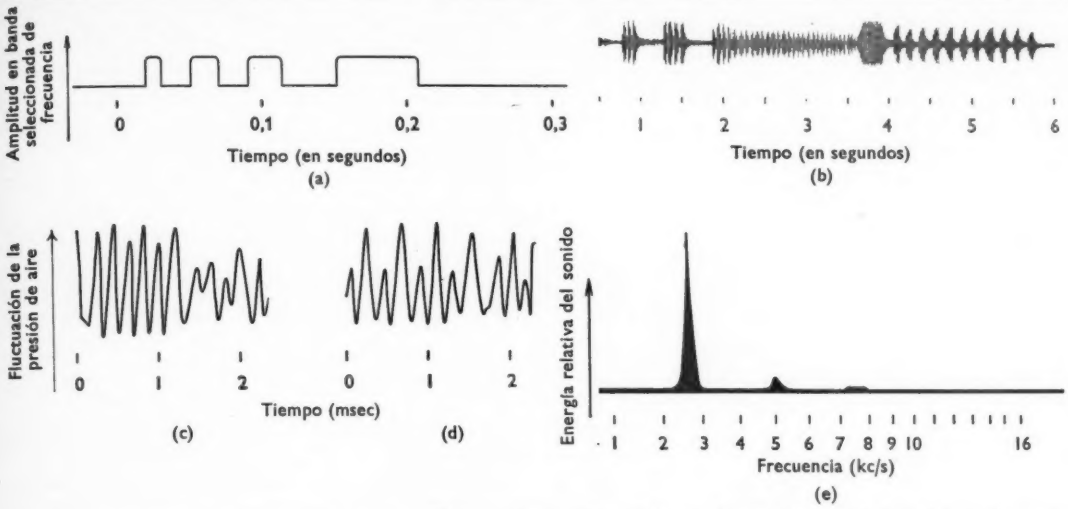


FIGURA 2 – *Los órganos productores de sonido de una cigarra* (Platylomia abdulla (*Dist.*)) *vistos a través de una abertura practicada en el dorso abdominal; ha sido extirpada la cubierta del timbal.*

FIGURA 3 – *Fotomicrografía del estridulo abdominal de* Prestalia granulata (*Stål.*) (*Neumorideos*).

1, 2, 3, 4, 7 y 9 son ortópteros; el 5 y 6 son cigarras (homópteros); 10 y 11 son escarabajos (coleópteros) y el 8 es un chinche pentatómido (heterópteros). Todos ellos, menos las cigarras, producen sonidos (chirridos) frotando una parte del cuerpo con otra que posee una lima dentada que aumenta la resistencia de contacto. Las cigarras utilizan el encorvamiento de una región especialmente modificada del esqueleto en la pared dorsolateral del primer segmento del abdomen por medio de un fuerte par de músculos insertos por un delicado apodema en una esquina del «timbal» (Fig. 2). Puede verse tal estructura en la *Zammara smaragdina* (Fig. 1, N° 5), aunque más comunmente va recubierta de un pliegue protector de cutícula, como en la *Thorpha sessiliba* (Fig. 1, N° 6). Todo el abdomen de la cigarra macho — sólo chirrían los machos — está ocupado por un ancho espacio aéreo traqueal, sincronizado a la frecuencia de vibración del timbal por medio de unos músculos accesorios especiales que expansionan el abdomen; otro músculo accesorio puede aumentar la curvatura del timbal y de este modo aumentar la intensidad del golpe seco producido al encorvarse la superficie [6].

El sistema de lima y clavija presenta muchas variaciones. En los grillos (gríllidos, Fig. 1, N°s 7 y 9), la lima está en la superficie inferior del ala derecha y la clavija en el ala izquierda; las bases de ambas alas van reforzadas para formar una membrana resonante. En la *Anaedopoda lamellata* (tetigonídeos, Fig. 1, N° 1), la lima está en la superficie inferior del ala izquierda, y sólo en la base del ala derecha hay una membrana vibratoria especial. En los acrídidos intervienen generalmente las patas posteriores; la *Oedopoda germanica* (edopodíneos, Fig. 1, N° 2) tiene la lima en el ala, al par que la *Scyllina picta* (truxalíneos,



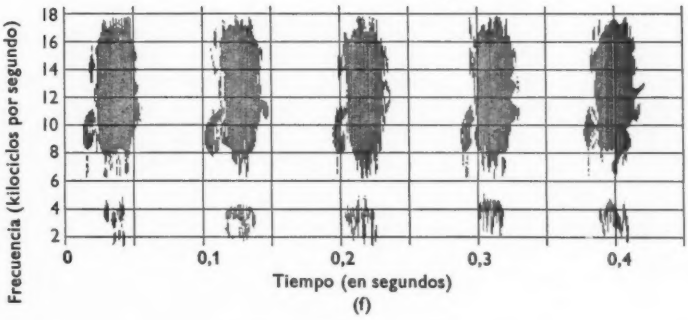


FIGURA 4 – *Cantos de insecto recogidos por una variedad de instrumentos registradores.* (a) *Amplificador sincronizado.* Amblycorypha oblongifolia (*De Geer*) (*Tetigonídeos*) [3]. (b) *Oscilógrafo.* Terpnosia ridens *Pringle* (*Cicádidos*) [6]. (c, d) *Oscilógrafo de gran velocidad.* Terpnosia stipata (*Walk.*) (*Cicádidos* [6]. (e) *Analizador de frecuencias.* Oecanthus pellucens *Scop.* (*Grillidos*) [1]. (f) *Espectrógrafo de sonido.* Neoconocephalus ensiger (*Harris*) (*Tetigonídeos*) [2].

Fig. 1, Nº 3) la tiene en el fémur posterior. El macho de la *Pneumora variolosa* (neumorídeos, Fig. 1, Nº 4) utiliza también las patas posteriores, pero la lima está situada en el abdomen (Fig. 3) y encontramos también grandes sacos aéreos abdominales análogos a los de los cicádidos. En los coleópteros el sonido puede producirse por movimiento del protórax sobre el mesotórax (*Aromia moschata*, cerambícidos, Fig. 1, Nº 11); por movimiento del cóxis posterior (*Geotrupes stercorarius*, escarabéidos, Fig. 1, Nº 10); o bien frotando la parte alta del abdomen sobre los élitros, como en el pequeño escarabajo de agua *Hygrobia hermanni* (pelóridos), que puede producir el sonido incluso debajo del agua. Algunas veces las larvas poseen también órganos estridulantes y producen una vibración al ser capturadas que puede detener al ave que va a devorarlas. Encontramos asimismo idéntica variedad en los hemípteros.

Los sistemas de producir sonidos en los insectos no sólo son distintos de los encontrados en los vertebrados, sino que también es diferente la calidad del sonido. Desde un principio los naturalistas percibieron dicha diferencia pero sólo gracias a los modernos métodos de registro se han podido poner en claro por completo las características sonoras. El pequeño tamaño de los insectos limita la frecuencia a que pueden resonar las estructuras de su cuerpo, siendo lo corriente encontrar frecuencias altas y aun supersónicas (2,5 a 50 kc/s). El sonido tiende también a fraccionarse o dividirse en una serie de impulsos muy cortos con una frecuencia de 20 a 500 por segundo, rasgo que puede relacionarse con la fisiología fundamentalmente distinta del órgano auditivo. Considerando que el oído de los vertebrados, por lo menos en todos los miembros más elevados terrestres del subfilum, consiste en un grupo de terminaciones del nervio coclear, cada una de ellas sensible a una banda de frecuencia ligeramente distinta, lo que proporciona la capacidad de discernir el tono de un sonido recibido, los oídos del insecto o no están afinados o tienen una sola banda general de sintonía de frecuencia y producen una sucesión de impulsos en el nervio auditivo que sigue la modulación o envolvente de amplitud [7]. La información

característica de las especies o del estado de su humor es transmitida por el ritmo de los impulsos más bien que por las variaciones de tono.

En la actualidad se dispone de cuatro tipos principales de instrumentos registradores, utilizables para el estudio del canto de los insectos; los registros obtenidos aparecen en la Fig. 4. La pauta de tiempo puede determinarse con un amplificador; la Fig. 4(*a*) representa un chirrido sencillo del canto de un saltamontes americano (ortópteros, tetigonídeos). Un registro más rápido mostraría que cada uno de esos sonidos está compuesto de una serie de impulsos que corresponden al paso de un diente de la lima sobre la clavija situada sobre el otro ala; el chirrido, pues, supone cuatro movimientos de las alas. La frecuencia de un sonido emitido no puede determinarse por este método, pero la sintonía del amplificador puede establecerla aproximadamente.

Si el micrófono está conectado a un amplificador de banda ancha, se obtiene un máximo de información acerca del canto por medio del oscilograma. La Fig. 4 muestra un análisis del canto de una cigarra. Los impulsos correspondientes al ruido seco del timbal ocurren en grupos con un ritmo complicado; la «frase», que es característica de la especie, se ve en la Fig. 4(*b*). Oscilogramas rápidos de la forma de onda sonora dentro de una pulsación sencilla (Fig. 4(*c*), (*d*)) indican varios modos de vibración, principalmente a 2250 c/s y en el segundo armónico, a 4500 c/s, que es la frecuencia fundamental de los sacos aéreos abdominales.

El tercer método que por conveniencia se emplea como complemento de la oscilografía es el análisis de frecuencias. La Fig. 4(*e*) muestra el chirrido del grillo (ortópteros, grílidos); los insectos de esta familia emiten un tono más puro que los de cualquier otra, quedando determinada la frecuencia sonora por la velocidad del paso de los dientes de la lima en el ala sobre la clavija, de modo que una pulsación de sonido es el resultado de un golpe completo del ala. El contenido armónico de este canto es muy bajo, y el oscilograma de cada pulsación es una onda senoidal pura.

El aparato más perfecto es el espectrógrafo del sonido o Vibroanalizador. Este método supone la obtención de un fiel registro magnético de un canto utilizando un micrófono, un amplificador y una velocidad de registro capaz de incluir las más altas frecuencias, analizando luego un grupo de ondas mediante el cual se pueda repetir indefinidamente la frase escogida. El registro hecho por el instrumento (Fig. 4(*f*)) muestra la pauta de tiempo y frecuencia a lo largo de las coordenadas X e Y respectivamente; la densidad de la impresión nos suministra la intensidad a cualquier frecuencia. La elección entre resolución de máxima frecuencia y resolución de tiempo máximo puede conseguirse cambiando la amplitud de banda del filtro analizador. El canto que se ilustra en la Fig. 4(*f*) es el de un saltamontes tetigonídeo; cada nota corresponde a un movimiento completo del ala y se compone de una sucesión de rápidas pulsaciones correspondientes al número de dientes de la lima. Una fracción apreciable de la energía total del sonido es de tipo supersónico y la banda ancha de frecuencias emitidas da al canto una cualidad de silbido para el oído humano.

El sistema de lima y clavija para la producción del sonido necesita complicadas alteraciones estructurales, pero no requiere una gran modificación fisiológica. Las altas frecuencias se producen mediante la resonancia de las membranas y el empleo de sierras; el movimiento mismo no es más rápido ni más frecuente que otros movimientos producidos por los insectos. No es éste el caso del sistema de timbal de las cigarras y sus afines entre los homópteros. En algunas cigarras, la frecuencia de las pulsaciones, que corresponde a los movimientos del timbal, es del orden de 400 c/s. Para alcanzar esta velocidad de contracción y relajación, el músculo del timbal ha desarrollado una forma de ciclo de actividad distinta de la de todos los otros músculos estriados, a excepción de los músculos indirectos del ala de las moscas, abejas, y otros insectos [5]. El ritmo de contracción se determina no por el sistema nervioso central, sino dentro del mismo músculo mediante un mecanismo que presupone desactivación de las fibrillas contráctiles por el estímulo mecánico del movimiento del timbal. No está bien clara todavía la naturaleza de este proceso.

REFERENCIAS

[1] Busnel, R.-G., Busnel, M. C. y Pasquinelly, F. *C.R. Soc. Biol., Paris*, **148**, 859, 1954.
[2] Borror, D. J. *Ohio J. Sci.*, **54**, 297, 1954.
[3] Pierce, G. W.: «The Songs of Insects». Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1948.
[4] Marler, P. *Nature, Lond.*, **176**, 6, 1955.
[5] Pringle, J. W. S. *J. Physiol.*, **124**, 269, 1954.
[6] *Idem. J. exp. Biol.*, **31**, 525, 1954.
[7] Pumphrey, R. J. *Biol. Rev.*, **15**, 107, 1940.
[8] *Idem.* «The Origin of Language». Liverpool University Press. 1951.

La cromatografía gas-líquido

A. T. JAMES

La gran importancia de la cromatografía como método de análisis y de preparación de sustancias químicas se ve hoy aumentada gracias a una nueva técnica de distribución selectiva de una sustancia entre fases líquida y gaseosa. Esta nueva cromatografía gas-líquido, aunque aplicable sólo a sustancias volátiles, puede usarse tan ampliamente como las diversas formas de destilación, a la que se asemeja mucho, pues puede aplicarse a sustancias que ejercen en la columna una presión gaseosa del bajo orden de 1 mm de mercurio.

La destilación, desarrollada originalmente como un método de separación de las sustancias volátiles de sus impurezas no volátiles, es probablemente la más antigua técnica de separación conocida. En el transcurso del tiempo se ha transformado en una técnica complicada para fraccionar mezclas de sustancias que tienen diferente volatilidad. Los vapores de una mezcla en ebullición pasan por una columna vertical contra una corriente de vapor condensado y los diferentes componentes de la mezcla se distribuyen entre el vapor y la corriente líquida, de acuerdo con su volatilidad relativa: el más volátil tiende a concentrarse en la parte alta y el menos volátil en el fondo de la columna. Para obtener la separación más eficaz es necesario pasar las fases vapor y líquido a través de tantos estados de equilibrio, o platos teóricos, como sea posible, definiendo los últimos como la longitud de la columna en la cual el vapor que deja la parte alta está en equilibrio con el líquido que deja el fondo. Para lograr este fin se insertan en la columna varios aparatos (casquetes esféricos, secciones de red de alambre, etc.), para producir el más íntimo contacto entre el vapor y la corriente líquida. A menor longitud del plato teórico se tiene mayor número de platos en una determinada longitud de columna, lo que se traduce en una mayor facilidad para obtener fracciones puras. Las mejores columnas de fraccionamiento en un laboratorio pueden tener una eficiencia de hasta 200 platos, pero las columnas industriales son menos eficaces.

Puesto que la columna de fraccionamiento está llena con la mezcla que ha de ser separada, una sustancia que deja la columna es seguida inmediatamente por la próxima; en consecuencia, las fracciones se traslapan siempre con otras fracciones, dependiendo la cantidad de traslapo de la eficiencia de la columna. Desde el punto de vista industrial, éste no es un gran defecto, puesto que el reciclo de estas fracciones es sencillo. Desde el punto de vista analítico, sin embargo, es mucho más serio, puesto que es imposible obtener un rendimiento de 100% de cada uno de los componentes. Una desventaja adicional para el analista es que resulta muy difícil hacer una columna de fraccionamiento de alta eficiencia capaz de manejar cantidades de material menores de 5 ó 10 g. Además, como la columna debe funcionar lentamente, se tarda mucho tiempo en determinar el número de componentes de una mezcla compleja.

Una variante de la técnica de destilación, conocida bajo el nombre de destilación portadora, consiste en añadir a la mezcla una sustancia químicamente inerte que tenga un punto de ebullición tal, que uno de los componentes pueda ser separado selectivamente en el destilado. El proceso ha sido modificado recientemente sustituyendo el vapor de la sustancia portadora por un gas permanente y la fase líquida de la columna por un líquido no volátil. Este líquido no volátil se distribuye sobre la superficie de un sólido poroso inerte, generalmente kieselguhr, que va dentro de la columna. La naturaleza porosa de este relleno permite que la corriente de gas pase rápidamente a través de la columna con la ayuda de un pequeño exceso de presión; las presiones utilizadas normalmente están entre 5 y 80 cm de mercurio sobre la presión atmosférica. Cuando una mezcla de sustancias volátiles es aplicada a la parte alta de la columna y es arrastrada por la corriente de gas, se separa en sus componentes, según su volatilidad relativa, en la fase líquida estacionaria. Si la columna tiene longitud suficiente, las sustancias surgen completamente separadas en la corriente de gas que sale al final de la columna, de tal manera que es posible obtener un rendimiento de 100% de un componente. Tales columnas, cuya eficiencia es de 1000 a 2000 platos teóricos, se construyen fácilmente.

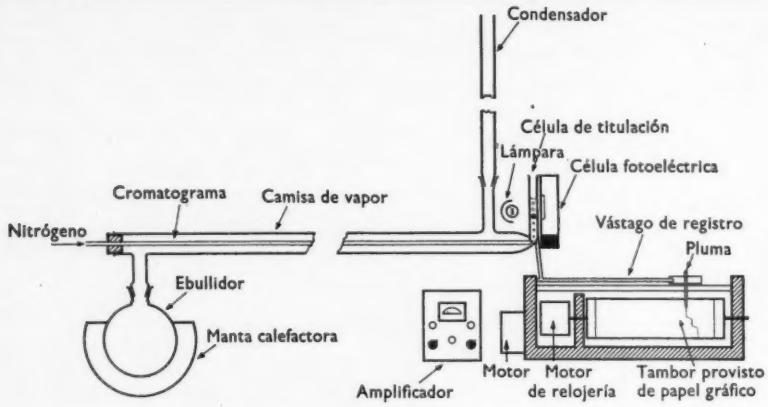


FIGURA 1 – *Diagrama esquemático del aparato para la cromatografía gas-líquido con titulación automática para detectar ácidos o bases volátiles que exfluyen de la columna.*

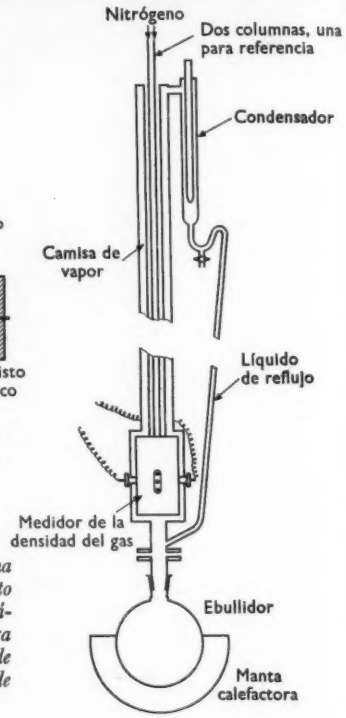


FIGURA 2 – *Diagrama esquemático del aparato para la medida automática de densidad para registrar la presencia de los vapores que salen de la columna.*

Este sistema es en efecto una forma de cromatografía, un sistema gas-líquido esencialmente semejante en comportamiento a la cromatografía de líquido-líquido (o de partición) inventada por Martin y Synge en 1941 [1, 11–13].

El uso de un gas como fase móvil de un cromatograma confiere un número de ventajas: 1°, el alto coeficiente de difusión en el gas permite alcanzar rápidamente el equilibrio con la fase líquida; 2°, la compresibilidad de un gas permite el uso de columnas largas y estrechas aun con regímenes elevados de flujo; 3°, es más fácil detectar vapores en gases permanentes que sustancias disueltas en disolventes, particularmente en el caso de sustancias no reactivas como son los hidrocarburos saturados; 4°, se pueden obtener columnas de alta eficiencia aun con valores elevados de flujo, obteniéndose así con mayor rapidez que por cualquier otra técnica separaciones más precisas.

El aparato para análisis es sencillo. Consiste en un tubo largo y estrecho de vidrio o de metal, lleno con una mezcla de la fase estacionaria y kieselguhr mantenida a temperatura constante por medio de una camisa de vapor. Se aplica una fuente de nitrógeno de presión constante [1, 2] a la columna, cuyo exfluyente pasa por un detector que registra automáticamente la cantidad de vapor presente en la corriente de gas.

Se han utilizado tres métodos de detección: el primero registra la masa total de la sustancia (o alguna función de la masa) que exfluye, y el segundo y tercero registran la concentración a la cual exfluye la sustancia.

Un registro de la masa total — tal como se obtiene (Fig. 1) por titulación automática de los ácidos o bases volátiles [1], o por medida del volumen después de separar el gas portador [3] — nos mostrará una serie de pasos que representan los integrales de los máximos más corrientemente observados en los cromatogramas (Figs. 3–5). Los instrumentos que miden la concentración a la cual exfluye la sustancia del cromatograma, tales como los catarómetros [4–6] o el medidor de densidad del gas [8] muestran los máximos en el gráfico final (Figs. 6–8, 2).

LAS VENTAJAS DEL CROMATOGRAMA GAS-LIQUIDO

La Fig. 4 muestra una separación de mono-, di- y trimetilamina realizada en ocho minutos que registra los contenidos relativos de cada componente.

La alta sensibilidad de la técnica permite el uso de muestras muy pequeñas, lo que es de gran conveniencia en investigaciones biológicas. Además, el material que sale del aparato puede ser recuperado y sometido a ulterior estudio químico, si es necesario. La gama de sustancias que pueden ser así analizadas es la misma que en la destilación, aun a presiones por debajo de 1 mm de mercurio.

El aparato puede hacerse funcionar de forma completamente automática. Las columnas se

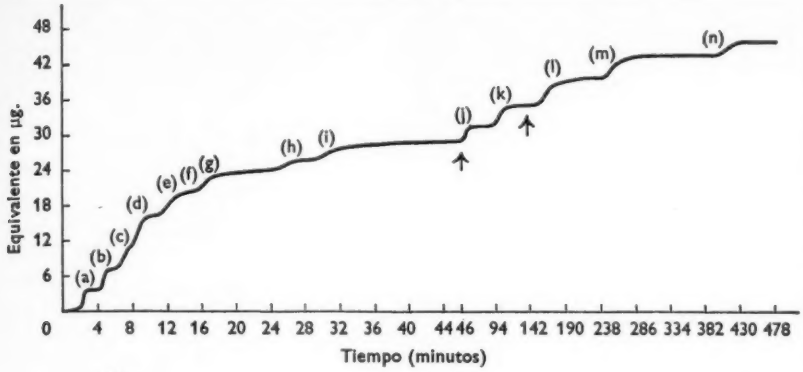


FIGURA 3 – *Separación de catorce ácidos grasos clasificados por la longitud de la cadena desde C_2 a C_{11}; desde la 1ª flecha, la escala de tiempo fué acortada: en el tiempo indicado por la 2ª flecha fué aumentado el régimen de flujo del nitrógeno.* (a) *Acido acético;* (b) *ácido propiónico;* (c) *ácido* iso-*butírico;* (d) *ácido* n-*butírico;* (e) *ácido* isovaleriánico; (f) *ácido alfa-metilbutírico;* (g) *ácido* n-*valeriánico;* (h) *ácido γ-metilvaleriánico;* (i) *ácido hexanoico;* (j) *ácido heptanoico;* (k) *ácido octanoico;* (l) *ácido nonanoico;* (m) *ácido decanoico;* (n) *ácido undecanoico.*

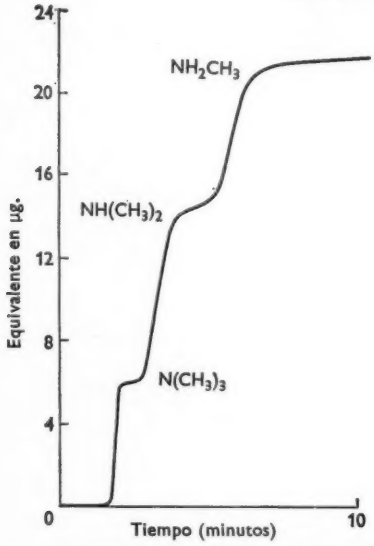


FIGURA 4 – *Separación de mono-, di-, tri-metilamina según se registra con la bureta automática. Temperatura de la columna: 78,6°; fase estacionaria: glicerina.*

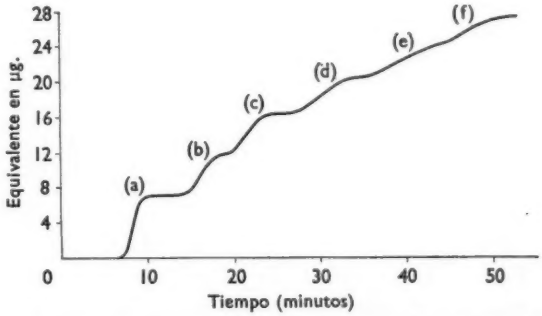


FIGURA 5 – *Separación de aminas aromáticas utilizando titulación automática en ácido acético glacial para su detección. Temperatura de la columna: 137°; fase estacionaria: parafina líquida:* (a) *anilina;* (b) *metilanilina;* (c) *dimetilanilina;* (d) m-4-*xilidina;* (e) *dimetil-*o-*toluidina;* (f) *dietilanilina.*

llenan fácil y rápidamente y pueden ser utilizadas cientos de veces antes de su agotamiento, lo cual ocurre únicamente por destrucción de la fase estacionaria. Los resultados son perfectamente reproducibles; siempre que la temperatura y el flujo de nitrógeno se mantengan constantes, una sustancia determinada emergerá siempre en el mismo tiempo.

ALGUNAS APLICACIONES DE LA TECNICA

Un estudio nuestro sobre los ácidos grasos de origen natural ha comprobado la presencia no solamente de ácidos grasos impares, cuya existencia fué un problema durante largo tiempo [14], sino también de ácidos impares no saturados, y por último de dos tipos de ácidos grasos de cadena ramificada. Estos ácidos se encuentran en cantidad apreciable en materias tan diferentes como la grasa humana [15] y la grasa de la leche de cabra [16].

La aclaración de la estructura de los subproductos de reacción, o de sustancias de origen biológico obtenibles solamente en pequeña cantidad, es difícil por los métodos químicos corrientes. Cuando la degradación química puede dar origen a fragmentos volátiles, el cromatograma de gas puede proporcionar los datos necesarios en cuanto a su estructura y cantidad. Por ejemplo, la naturaleza de las cadenas laterales unidas al núcleo del 4-hidroxiquinoleina-N-óxido de un antagonista de la estreptomicina de origen natural, quedó determinada haciendo pasar a través de la columna productos de oxidación derivados de 10 mg solamente de la sustancia impura [17].

En los estudios físico-químicos, el cromatograma de gas proporciona información sobre

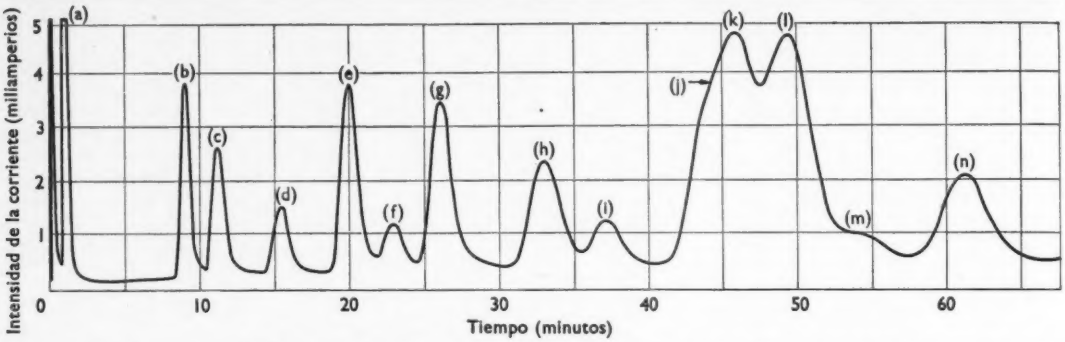


FIGURA 6 – *Separación de hidrocarburos alifáticos isómeros utilizando medidas de densidad del gas para identificar las porciones que salen de la columna; la ordenada representa las lecturas del galvanómetro registrador en ésta y en las Figs. 7 y 8:* (a) *máximo de aire;* (b) iso-*pentano;* (c) n-*pentano;* (d) 2:2-*dimetilbutano;* (e) ciclo*pentano* + 2-*metilpentano y* 2:3-*dimetilbutano;* (f) 3-*metilpentano;* (g) n-*hexano;* (h) *metil*-ciclo*pentano;* 2:2-*dimetilpentano;* 2:4-*dimetilpentano;* (i) 2:2:3-*trimetilbutano;* (j) 3:3-*dimetilpentano;* (k) 2-*metil*-*hexano;* (l) ciclo*hexano* + 2:3-*dimetilpentano y* 3-*metil*-*hexano;* (m) 3-*etilpentano;* (n) n-*hexano.*

calores latentes de evaporación, energías libres de solución, etc. y sobre el efecto en tales parámetros de pequeños cambios en la estructura. Las sustancias de gran pureza que se requieren para los métodos corrientes no son ya necesarias, pues las impurezas pueden, generalmente, ser separadas en el curso de la medición.

El alto poder de resolución de esta técnica ha tenido frecuentemente como resultado la demostración de impurezas en sustancias antes consideradas puras (Fig. 7) y tiene obvias aplicaciones en el examen de productos volátiles intermedios para los trabajos de síntesis. La sencillez consiguiente para determinar la pureza de los productos químicos para usos de laboratorio es posible que haga más exigentes a los químicos orgánicos sobre la calidad de los reactivos comerciales.

Para el examen rutinario de la composición de los alimentos y productos volátiles intermedios y finales del comercio, la cromatografía gas-líquido no tiene igual. Sus posibilidades respecto a las mezclas complejas significan una ventaja sobre el espectrómetro de masa, puesto que cuando se aplica a mezclas este último requiere gran preparación matemática para interpretar los resultados; sin embargo, no debe considerarse este método como un rival del espectrómetro de masa o de las técnicas de absorción luminosa, ya que éstos pueden dar información más útil que el cromatograma de gas cuando se opera con especies químicas simples. El aparato puede construirse suficientemente fuerte para su utilización industrial y la larga vida de las columnas y la reproductibilidad de los resultados le hacen conveniente para ser utilizado por operarios relativamente inhábiles.

FACTORES QUE RIGEN LA EFICIENCIA DE LA COLUMNA

Los principales factores que afectan a la eficiencia [9] de la columna son: régimen de flujo de gas, homogeneidad de la carga de la columna, temperatura, y naturaleza de la fase estacionaria.

El coeficiente de difusión de los vapores en la fase estacionaria de la columna parece ser el factor determinante de la eficiencia. La medida de la anchura de banda de una serie de zonas muestra que la eficiencia crece con el tiempo de exfluencia de la columna. Naturalmente, al aumentar el régimen de flujo del nitrógeno, disminuye el tiempo de contacto con la fase estacionaria y por tanto decrece la eficiencia.

Las fases estacionarias de gran viscosidad, con

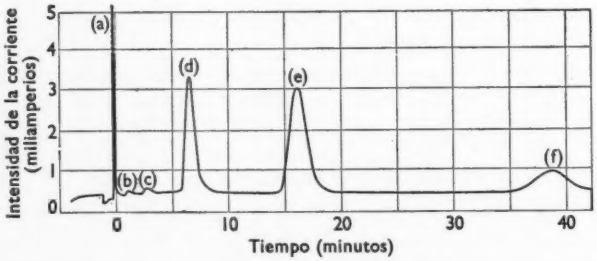


FIGURA 7 – *Análisis de una muestra de miristato de metilo comercial. Temperatura de la columna:* 197° C.; *fase estacionaria: Apiezon M grasa de llaves para vacío:* (a) *máximo de aire;* (b) n-*octanoato de metilo;* (c) n-*decanoato de metilo;* (d) n-*dodecanoato de metilo;* (e) n-*tetradecanoato de metilo;* (f) n-*hexadecanoato de metilo.*

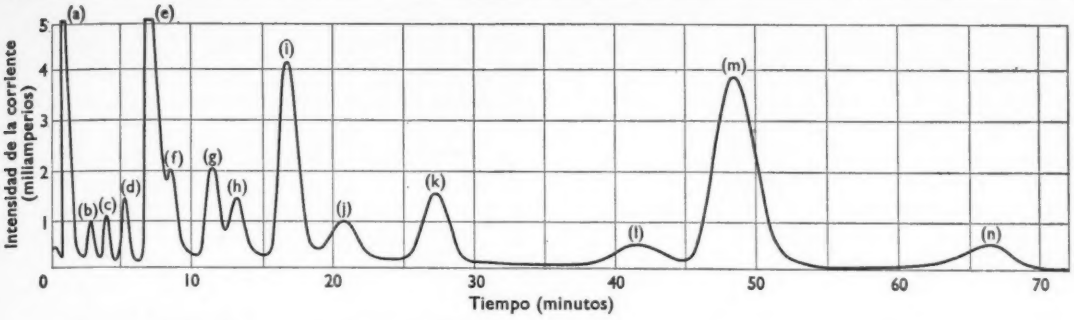


FIGURA 8 – *Separación de ésteres metílicos de diferentes ácidos grasos de cadena lineal y ramificada. Temperatura de la columna:* 197° C.; *fase estacionaria: extracto de un aceite lubrificante de alto punto de ebullición:* (a) *máximo de aire;* (b) n-*pentanoato de metilo;* (c) n-*hexanoato de metilo;* (d) *anti*-iso-*heptanoato;* (e) iso-*octanoato de metilo;* (f) n-*octanoato de metilo;* (g) *anti*-iso*nononanoato de metilo;* (h) n-*nonanoato de metilo;* (i) iso-*decanoato de metilo;* (j) n-*decanoato de metilo;* (k) *anti*-iso-*undecanoato de metilo;* (l) iso-*dodecanoato de metilo;* (m) n-*dodecanoato de metilo;* (n) *anti*-iso-*tridecanoato de metilo.*

sus correspondientes bajos coeficientes de difusión, darán columnas relativamente ineficientes; por tanto, será ventajoso utilizar como fase estacionaria una tan móvil como sea compatible con la necesidad de baja volatilidad a la temperatura del régimen a que se opera. Aumentando la temperatura de la columna se aumenta su eficiencia, lo que se debe al aumento en el coeficiente de difusión en la fase líquida, pero decrecen los factores de separación.

ESTRUCTURA QUIMICA Y COMPORTAMIENTO CROMATOGRAFICO

La interpretación del comportamiento de diferentes sustancias en cromatogramas líquido-sólido y líquido-líquido se hace difícil por las interacciones entre las dos fases. Con el cromatograma gas-líquido, sin embargo, estas tienen efectos relativamente menores, y en muchos casos es posible achacar movimientos relativos hacia abajo en las columnas a diferencias en la interacción soluto-solvente.

En columnas cuya fase estacionaria consiste en hidrocarburos parafínicos, la interacción soluto-solvente es solamente del tipo van der Waals y depende del número, naturaleza y configuración de los átomos en la molécula. Esto se demuestra en la Fig. 9, que indica la relación entre peso molecular y configuración y el logaritmo del tiempo de exfluencia de la columna (por conveniencia medido en relación a una sustancia *standard*) para una diversidad de hidrocarburos saturados; la fase estacionaria está formada por *n*-octadecano a 65°C. Para una serie homóloga existe una relación lineal entre el logaritmo del tiempo de exfluencia y la longitud de la cadena, puesto que aumentando la cadena por un grupo —CH_2— aumenta la energía libre de solución en una cantidad constante (aproximadamente 750 cal por molécula gramo en estas condiciones). Esta relación lineal permite calcular convenientemente el tiempo de exfluencia de cualquier miembro de una serie, teniendo en cuenta el comportamiento de dos o tres

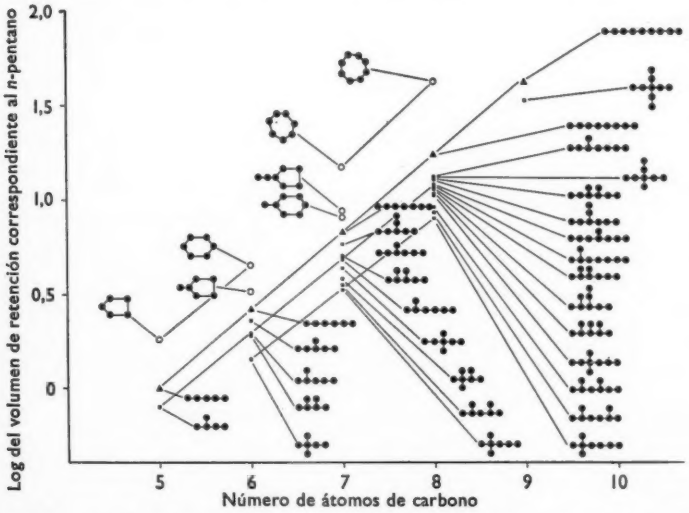


FIGURA 9 – *Relación entre la estructura y el régimen de movimiento en la columna (relativo al* n-*pentano) de diferentes hidrocarburos saturados. Temperatura de la columna:* 65°; *fase estacionaria:* n-*octadecano.*

miembros. Es también una gran ayuda para la identificación de sustancias de estructura desconocida.

Debe notarse que la proximidad del punto de ebullición no es un medio preciso para juzgar la posibilidad de una determinada separación, puesto que las fuerzas de interacción en un líquido puro no son necesariamente las mismas que las que aparecen en la fase estacionaria de una columna. Con sustancias de estructura química semejante, tales como los hidrocarburos saturados isómeros, la proximidad del punto de ebullición indica que las sustancias pasarán muy cercanas en el cromatograma de gas (Fig. 9). Las sustancias de idéntico punto de ebullición pero de estructura química diferente son, sin embargo, más fáciles de separar, puesto que con frecuencia la fase estacionaria puede ser elegida para que tenga mayor energía de interacción con un componente que con otro.

En otras fases estacionarias que no sean hidrocarburos parafínicos pueden entrar en juego diferentes fuerzas, debido a la interacción de agrupaciones polares. Por ejemplo, un poliéter que contenga repetidas veces la unidad $—CH_2CH_2—O—$ mostrará enlaces de hidrógeno con sustancias que poseen un átomo de hidrógeno activo, tal como el cloroformo, aminas primarias y secundarias, alcoholes, fenoles, etc.; sin embargo, con sustancias que no contengan estos grupos solamente pueden estar implicadas las más débiles fuerzas de van der Waals. Los hidrocarburos aromáticos presentan fuertes interacciones con las moléculas que contienen los grupos $—NH_2—$, $—OH$, $—COCH_3$, $—CN$, y $—NO_2$, creciendo la energía de interacción en el orden en que se han escrito.

No obstante, para una determinada separación, la pregunta que surge es: ¿ cuáles son las diferencias en estructura entre las sustancias implicadas? Las diferencias en el número y naturaleza de los grupos alquílicos indicaría que la separación estará basada sobre diferencias en las interacciones de van der Waals, de manera que se requiere una fase estacionaria grasa. La posesión de grupos de diferente polaridad indicará la necesidad de una fase estacionaria capaz de presentar interacción con tales grupos.

No es necesario mantener la columna a una temperatura comparable a los puntos de ebullición de los materiales objeto de examen, puesto que muchas sustancias se movilizarán con razonable rapidez a través de la columna cuando las presiones parciales sean de pocos milímetros. Siempre es ventajoso que el recorrido de la columna se haga a la temperatura más baja posible con objeto de obtener amplios factores de separación. Por ejemplo, el factor de separación del $—CH_2—$ (tiempo de exfluencia de una sustancia con relación al tiempo del homólogo inferior más próximo) en fases estacionarias formadas por parafinas es 3,5 a 23°C y solamente 1,56 a 200°C.

Pueden utilizarse fases estacionarias mezcladas con tal que las contribuciones respectivas de las fuerzas de van der Waals y las polares de solución sean diferentes de las producidas en uno de los disolventes puros. Con este fin es posible hacer que la fase estacionaria retenga específicamente un componente de una mezcla. Este grado adicional de libertad hace que se puedan utilizar muchas más fases estacionarias que las que previamente se había supuesto.

Muchas de las investigaciones sobre este tema se han consagrado a problemas analíticos, pero este método se ha utilizado también en la preparación de sustancias puras en cantidades de 50–100 gramos [10]. No cabe duda de que el cromatograma gas-líquido será de gran utilidad tanto para el químico orgánico preparador como para el químico analista [11–13].

Agradecemos a los directores del *British Medical Bulletin* la autorización para reproducir diagramas ya publicados.

REFERENCIAS

[1] James, A. T. y Martin, A. J. P. *Biochem. J.*, **50**, 679, 1952.
[2] James, D. H. y Phillips, C. S. G. *J. sci. Instrum.*, **29**, 262, 1952.
[3] Janak, J. *Coll. Czech. Chem. Comm.*, **19**, [5], 917, 1954.
[4] Littlewood, A. B., Phillips, C. S. G. y Price, D. T. *J. chem. Soc.*, 1480, 1955.
[5] Ray, N. H. *J. appl. Chem.*, **4**, 21, 1954.
[6] *Idem. Ibid.*, **4**, 82, 1954.
[7] Claesson, S. *Ark. Kemi Min. Geol.*, **23A**, No. 1, 1946.
[8] Martin, A. J. P. y James, A. T. Aún inédito.
[9] Pollard, F. H. y Hardy, C. J. *Chem. and Ind.*, 1145, 1955.
[10] Evans, D. E. M. y Tatlow, J. C. *J. chem. Soc.*, 1184, 1955.
[11] James, A. T. *Brit. med. Bull.*, **10**, 170, 1954.
[12] *Idem. Chem. and Process Engng*, **36**, 95, 1955.
[13] *Idem. Research*, **8**, 8, 1955.
[14] Hansen, R. P. y McInnes, A. G. *Nature, Lond.*, **173**, 1093, 1954.
[15] James, A. T. y Wheatley, V. R. Aún inédito.
[16] James, A. T. y Martin, A. J. P. *Biochem. J.* (en prensa).
[17] Cornforth, J. y James, A. T. *Ibid.* (en prensa).

Espermatozoos del erizo de mar

LORD ROTHSCHILD

Este artículo trata principalmente de la morfología de los espermatozoos del erizo de mar hasta el momento de la fertilización, estudio que el microscopio electrónico y la técnica microtómica han facilitado grandemente. Pudiendo en la actualidad cortarse secciones de sólo 250 ångströms de espesor, es posible por tanto observar estructuras cuya existencia se desconocía previamente. Partiendo de otros datos sobre los fenómenos biológicos que vienen investigándose, se pueden hacer deducciones acerca de las funciones de estas estructuras.

La fertilización en los erizos de mar se ha estudiado más intensamente que en cualquier otro animal o planta por las razones siguientes:

1. Posibilidad de obtener huevos y espermatozoos en cantidades formidables. Nos da cierta idea del número de espermatozoos producidos la fotografía de la Fig. 4, que presenta el erizo de mar británico *Echinus esculentus* desovando debajo del agua. Los chorros de esperma eyaculados por cinco orificios genitales miden cerca de 4,5 cm de largo y contienen unos 100 000 000 de espermatozoos. Un erizo de mar es capaz de producir 1000 cm de semen durante la época de cría.
2. Los huevos del erizo de mar son transparentes y por tanto un material muy a propósito para observar mediante el microscopio lo que ocurre cuando el esperma penetra dentro del óvulo.
3. La fertilización *in vitro* es fácil de conseguir.

El examen al microscopio de un espermatozoo, vivo o coloreado, de erizo de mar pone de manifiesto que se compone de una cabeza en forma de pera de 3,5 μ de largo por 1 μ de ancho en su base, de una pieza media globular, y de una cola vibrátil que mide 0,2 μ de ancho por 50 μ de largo. La Fig. 1 es una reproducción de dibujos publicados por el gran microscopista G. Retzius en 1910 [11]. Aparte de las observaciones adicionales que posibilita el microscopio electrónico, y de las que debemos a G. T. Popa [10] — que parecía estar dotado de una visión paranormal, aunque algo errática —, los dibujos de Retzius parecen ejecutados en 1956 más bien que en 1910. Las pequeñas estructuras refringentes que pueden verse en las extremidades de las cabezas en la Fig. 1 existen de hecho, aun cuando son invisibles en los espermatozoos vivientes, aun empleando una amplificación de contraste de fase muy elevada.

LA COLA Y SUS MOVIMIENTOS

Los espermatozoos de erizo de mar se desplazan mediante unas ondulaciones o flexiones ondulatorias de la cola en una dirección anteroposterior: la frecuencia es de 30 a 40 ondas por segundo. La notable microfotografía reproducida en la Fig. 9(*a*), tomada por Sir James Gray de la Universidad de Cambridge y M. M. Swann de la Universidad de Edimburgo, presenta los espermatozoos nadando en agua de mar. Si los espermatozoos de erizo de mar se fotografían empleando iluminación en fondo oscuro, como en la Fig. 9, las cabezas aparecen como manchas brillantes de luz sobre fondo oscuro. El tiempo de exposición para la Fig. 9(*a*) fué de un 1/500 de segundo, lo cual explica por qué las ondulaciones de la cola del esperma están «congeladas». Sin embargo, la fotografía resultante es muy distinta (Fig. 9 (*b*)) cuando la exposición es de medio segundo. En esta fotografía, los espermatozoos se desprenden de una gota de esperma en agua de mar y las porciones de líneas blancas, o estelas, indican el espacio recorrido por las cabezas de los espermatozoos durante el medio segundo de exposición. Gray [8] ha demostrado que las estelas de la cabeza espérmica obtenidas en estas circunstancias no son espirales, aun cuando así lo parezcan, sino bucles o espiras en plano sencillo. Las estelas son originadas por movimientos peculiares de la cabeza espérmica (Fig. 2), que en ciertos momentos de cada ciclo puede en realidad retroceder, si bien el espermatozoo se mueve en general hacia delante con relación al fondo.

Una de las cuestiones más importantes y de mayor interés entre las muchas que automáticamente se nos vienen a las mientes al estudiar los espermatozoos, tiene relación con el mecanismo de sus movimientos. Aun cuando la hidrodinámica del movimiento espérmico es bastante bien comprendida [7, 8, 15, 16], virtualmente no existe información sobre los cambios en el interior de la cola que dan lugar a las ondas de flexión observadas. Al considerar esta cuestión el primer

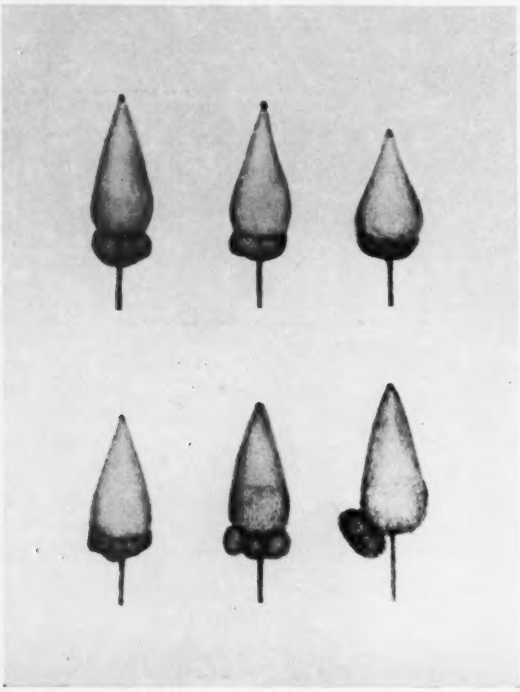


FIGURA 1 – *Dibujos de espermatozoos de un erizo de mar* (Echinus esculentus), *por Retzius* [11].

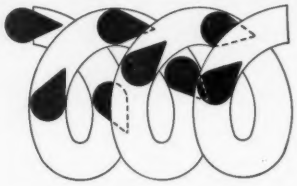


FIGURA 2 – *Diagrama que muestra los movimientos de la cabeza de un espermatozoo de un erizo de mar* (Psammechinus miliaris), *y la estela formada por estos movimientos al fotografiar un espermatozoo nadando, con iluminación en fondo negro y un tiempo largo de exposición, como en la Fig.* 9(b). *Se han incluido solamente algunas posiciones de la cabeza* [8].

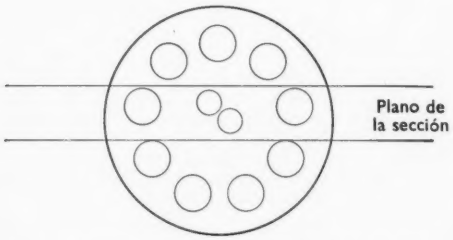


FIGURA 3 – *Diagrama que muestra el plano de la sección (normal al plano del papel) de la micrografía electrónica de la Fig.* 6.

paso es investigar la morfología de la cola espérmica. Sólo en años recientes ha sido esto posible, ya que las estructuras dentro de la cola de un espermatozoo son demasiado pequeñas para ser vistas en el microscopio corriente. Parece regla general en los reinos animal y vegetal que las estructuras protoplásmicas vibrátiles, como los cilios y flagelos, se componen de nueve fibrillas dispuestas en círculo, incrustadas en una matriz protoplásmica aproximadamente cilíndrica, y de dos fibrillas más pequeñas que corren a lo largo del eje del cilindro. Bradfield [2] fué el primero de demostrar que la cola espérmica del erizo de mar se adaptaba a este diseño universal. Es punto todavía en litigio si las nueve fibrillas, que miden unos 300 ångströms de diámetro, o las dos centrales, de unos 250 ångströms de diámetro, son sólidas o tubulares. Sin embargo, en una micrografía electrónica de una sección transversal de la cola de un espermatozoo de erizo de mar [1] parece que las dos fibrillas centrales son sencillas, pero que ocho de las otras nueve son dobles y triple la restante; esto quiere decir que, en realidad, existen 19 fibrillas en el anillo externo distribuídas en nueve grupos. Por razones obvias, son remotas las posibilidades de obtener una porción regular de la cola en sección longitudinal. La micrografía electrónica reproducida en la Fig. 6 de una sección aproximadamente longitudinal de parte de un espermatozoo de erizo de mar, demuestra que, sea como fuere, en las proximidades de la cabeza no hay pruebas de que ninguna de las fibrillas centrales o las externas estén torsionadas o dispuestas helicoidalmente a lo largo del eje de la cola. Pero si las fibrillas caudales experimentan torsión de modo que una vuelta completa ocupe la longitud de una onda de la cola, esto es, unas 30 μ (Fig. 9(*a*)), no será posible observar ninguna torsión en el pequeño trozo de cola aprovechable para el estudio en la Fig. 6. Esta cuestión es de importancia cuando se considera el mecanismo del movimiento espérmico.

Hay una línea oscura que desciende por el centro de lo que en la Fig. 6 parece una fibrilla central de la cola. Esta línea, se debe casi seguramente al hecho de que el plano de la sección es tal que las dos fibrillas centrales se superponen a lo largo de esta línea, como se ve en la Fig. 3.

La sección transversal de una cola en la Fig. 6, con un anillo blanco a su alrededor, contiene tan

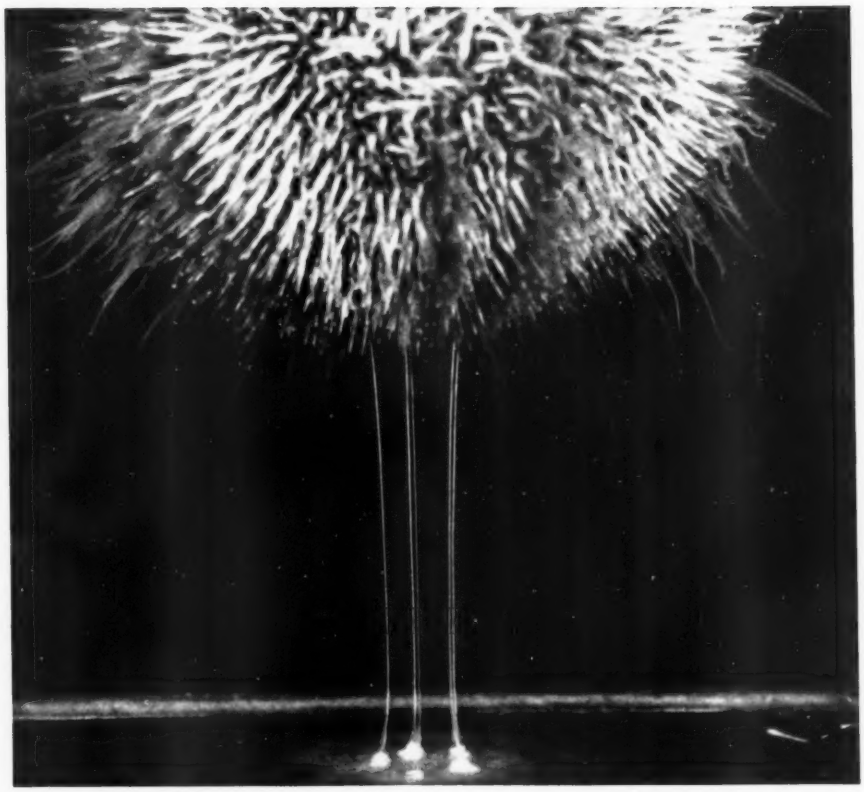


FIGURA 4 – *Un erizo de mar* (Echinus esculentus) *desovando debajo del agua.* (*Tamaño natural*)

FIGURA 5 – (*a*) *Sección transversal de la pieza media de un espermatozoo de* Echinus esculentus. *La sección fué cortada cerca del centriolo. Nótese la ausencia de las dos fibrillas centrales. Fijación con tetraóxido de osmio. t.f., anillo externo de fibrillas de la cola; mi., mitocondrios.*

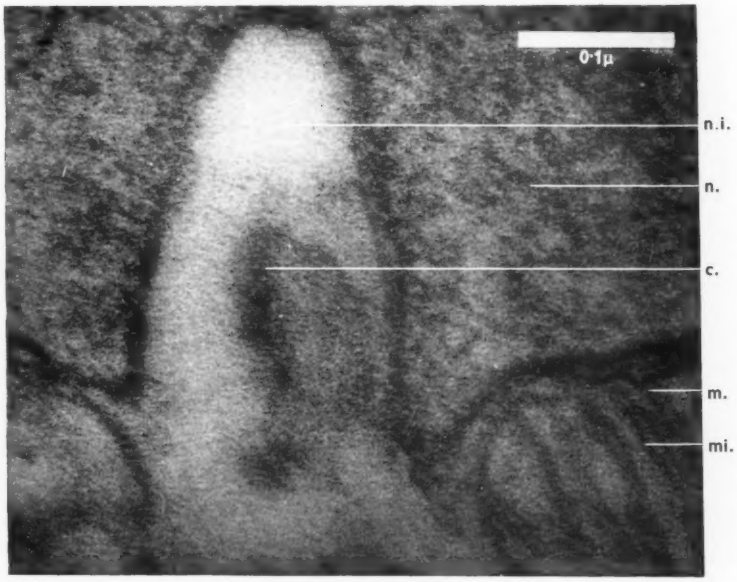


FIGURA 5 – (*b*) *Sección longitudinal del extremo posterior de la cabeza de espermatozoo de* Echinus esculentus. *La micrografía muestra la invaginación nuclear* (*n.i.*) *que normalmente contiene el centriolo* (*c*). *Obsérvense los mitocondrios* (*mi.*) *en la pieza media* (*m.*). *n., núcleo. Fijación con tetraóxido de osmio.*

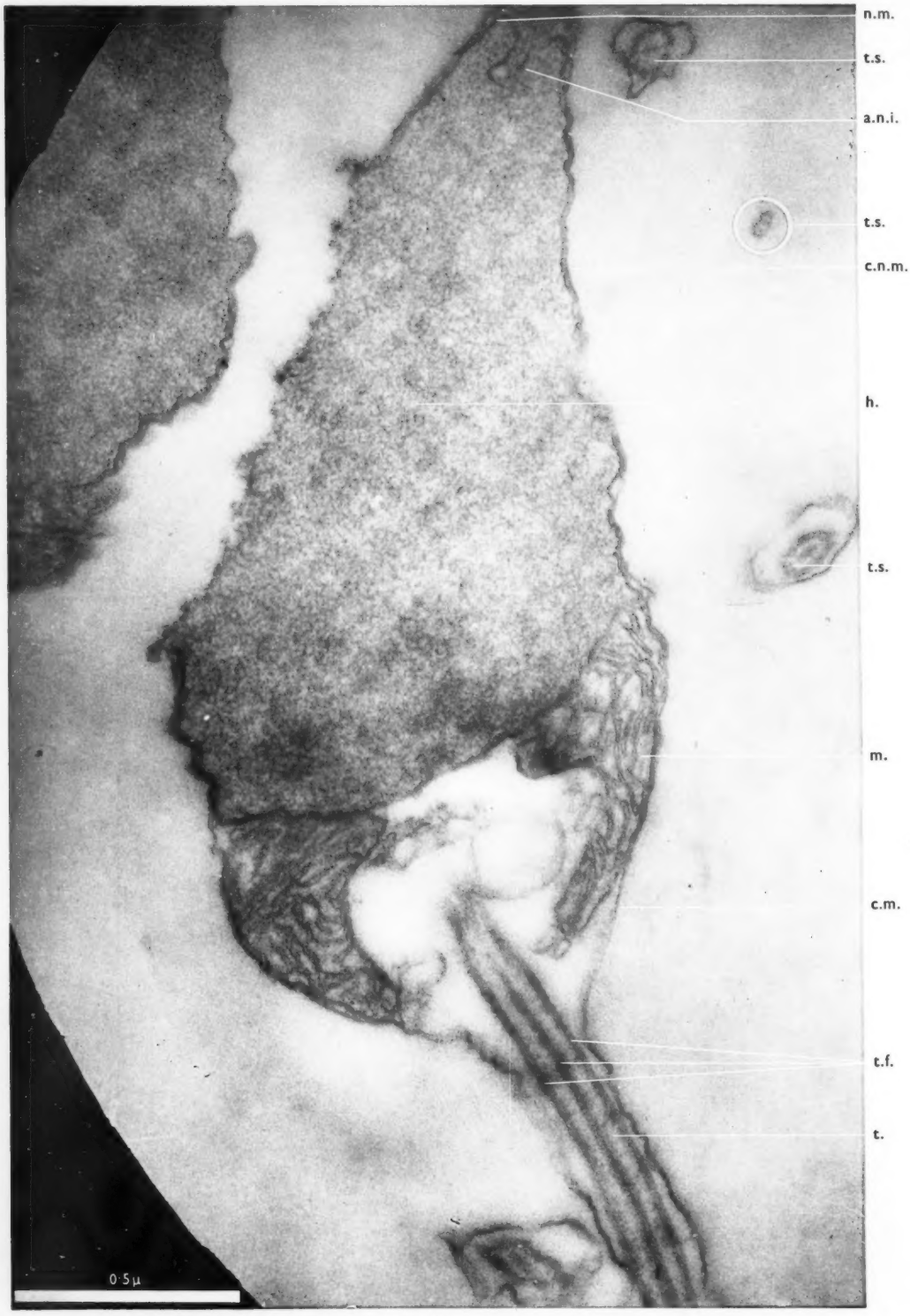


FIGURA 6 – *Sección longitudinal de la cabeza, pieza media y parte de la cola de un espermatozoo de* Echinus esculentus. *La estructura dentro del círculo blanco es una sección transversal cerca del extremo posterior de la cola. Fijación con tetraóxido de osmio. c.m., membrana celular; c.n.m. membranas celular y nuclear; h., cabeza; m., pieza media; n.m., membrana nuclear; t., cola; a.n.i., invaginación nuclear anterior; t.f., fibrillas caudales; t.s., secciones transversales de la cola. La superior e inferior fueron cortadas en el extremo posterior de la pieza media.*

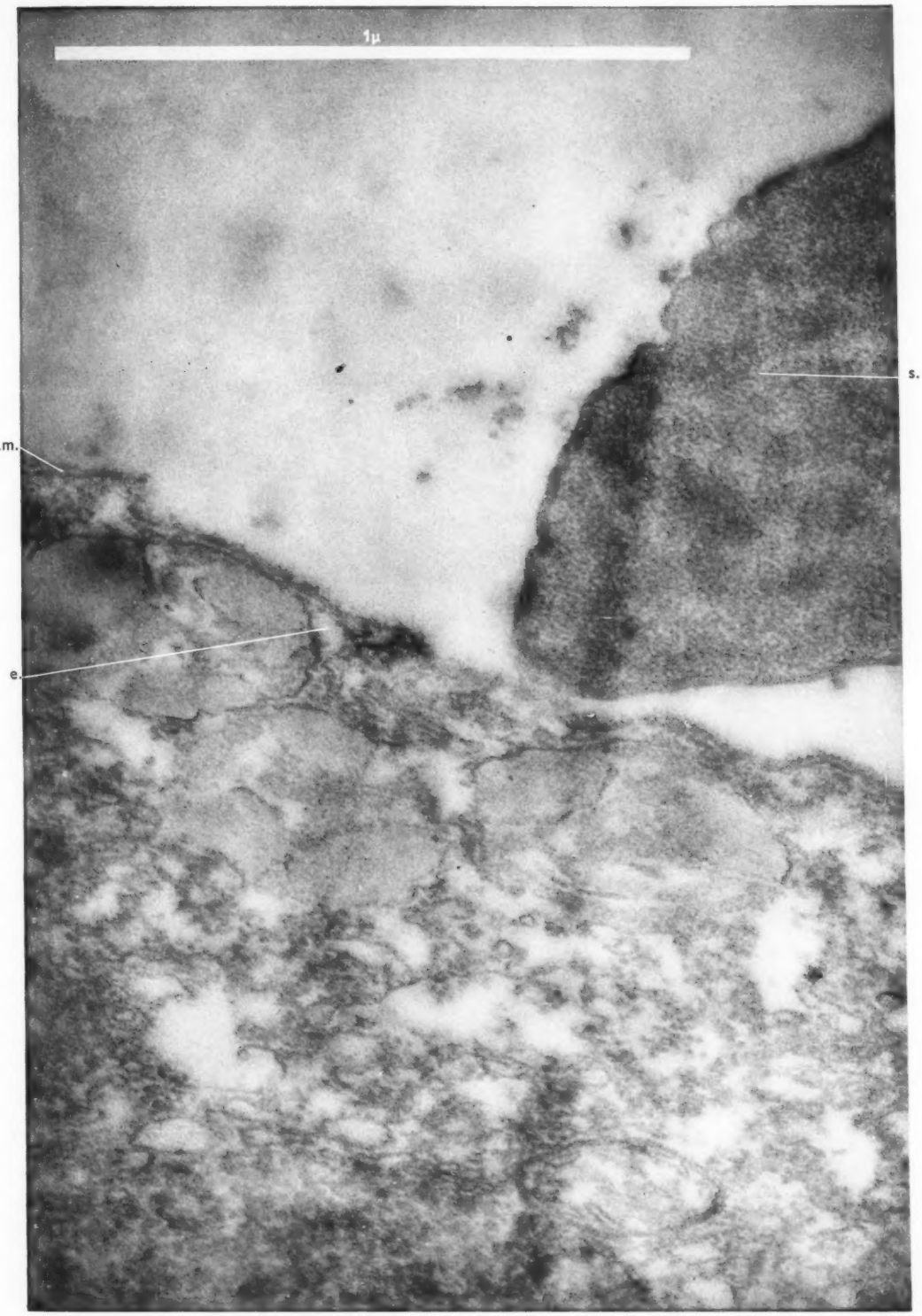
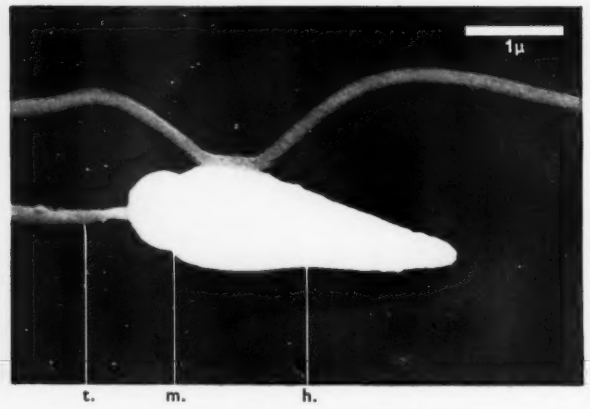


FIGURA 7 – *Espermatozoo de* Echinus esculentus *muy cerca o en la superficie de un huevo de la misma especie. Fijado con tetraóxido de osmio 25 segundos después de mezclar huevos no fertilizados y espermatozoos. Obsérvese la desaparición aparente de la membrana plásmica (?) cerca del extremo anterior del espermatozoo. e., huevo; s., espermatozoo (cabeza); p.m., membrana plásmica (?).*



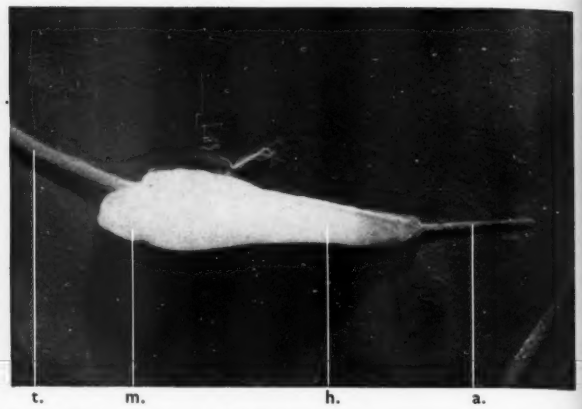


FIGURA 8 – (*izquierda*) *Espermatozoo de* Hemicentrotus pulcherrimus *en agua de mar. El semen está diluído con agua de mar, fijándose la suspensión con formalina* 1,5 *minutos más tarde* [4]. *h., cabeza; m., pieza media; t., cola.* — (*derecha*) *Espermatozoo de* Hemicentrotus pulcherrimus. *El semen se mezcló con agua de mar y un minuto más tarde se agregaron secreciones de huevos. Esto dió lugar a la aglutinación de los espermatozoos y a la «extrusión» del filamento acrosomático. Reversión de aglutinación ocurrida* 3,5 *minutos más tarde; después de* 4 *minutos se fijó la suspensión con formalina* [5]. *a., filamento acrosomático; h., cabeza; m., pieza media; t., cola.*

FIGURA 9 – (*a*) (*izquierda*) *Espermatozoo de* Psammechinus miliaris *nadando en agua de mar. Microfotografía por J. Gray y M. M. Swann. Tiempo de exposición,* 0,002 *seg.; iluminación sobre fondo negro.* — (*b*) (*arriba*) *semen de* Psammechinus miliaris *en agua de mar a* 17°. *En el borde de una gota blanca de semen, los espermatozoos se «desprenden» en la agua. Las estelas son originadas por los movimientos de traslación de las cabezas espérmicas durante una exposición de* 0,5 *segundos. Iluminación en fondo negro* [12].

a
n
a
,,

o
a
y
a,
—
as
de
os
on
ón
s-
do

sólo dos fibrillas. Esta sección estuvo probablemente situada en la extremidad de la cola espérmica. Algunas secciones del final de la cola no contienen filamento alguno [1].

La hipótesis más razonable para explicar las ondas de torsión que pasan a lo largo de la cola de un espermatozoo cuando está nadando, es que los elementos en las nueve fibrillas externas se acortan periódicamente en un orden determinado [8]. Si los elementos en la cola ejecutan una flexión activa (lo que supone contracción), deben existir por necesidad en la cola otras estructuras que resistan a la compresión. Las estructuras que resisten pueden ser la matriz protoplásmica donde se hallan incrustadas las fibrillas, o bien la membrana de la cola, o bien las dos fibrillas centrales. Del análisis de los movimientos de los espermatozoos del erizo de mar verificado por Gray, parece probable que las nueve fibrillas externas son capaces de contracción activa. Si éstas corren derechas a lo largo de la totalidad de la cola espérmica, se precisa la existencia de un sistema complicado análogo al mecanismo de control nervioso que garantice la contracción de las fibrillas en el orden y tiempo precisos en los diferentes puntos a lo largo de sus grandes ejes. Se necesita un sistema menos complicado si las fibrillas están torcidas, puesto que en tales circunstancias cada fibrilla sólo necesita contraerse toda, en un orden determinado, con objeto de formar las ondas de flexión. Bradfield [3] ha lanzado la idea de la posibilidad de que las dos fibrillas centrales, distintas químicamente de las otras nueve externas [9] expliquen la conducción de «impulsos nerviosos» a lo largo del cilio. La cantidad de torsión requerida para obviar la necesidad de esta clase de sistema es tan pequeña que escapa a la observación. A falta de mayor información, no hay que pasar por alto la hipótesis más sencilla, que presupone fibrillas torsionadas.

La cola del espermatozoo de erizo de mar atraviesa la pieza media y termina en una invaginación de la parte posterior del núcleo visible en la Fig. 5(*b*), pero no en la Fig. 6, en que el plano de sección no es bastante céntrico para poner de manifiesto la cavidad. La cola se desprendió al preparar la sección presentada en la Fig. 5(*b*). El extremo anterior de la cola termina en el centríolo, el cual es un «disco encorvado», con un diámetro de 0,15 μ [1]. Afzelius afirma que las nueve fibrillas externas pueden identificarse en el borde o margen del centríolo, al par que las dos fibrillas centrales emergen en medio del mismo. En algunas secciones transversales cortadas en la región del centríolo, nosotros, sin embargo, hemos descubierto que faltaban las dos fibrillas centrales (Fig. 5(*a*)). Aun cuando ello pueda haberse originado por algún accidente durante la preparación de las secciones, se hizo la misma observación en las extremidades anteriores de los cilios [6], y por consiguiente parece probable que el punto de vista de Afzelius de que las fibrillas centrales se extienden dentro del centríolo se basa en una falsa interpretación de sus micrografías electrónicas.

Con toda probabilidad el centríolo es la estructura de donde parten las órdenes para contraer las fibrillas. No tenemos idea de si estas órdenes son químicas o eléctricas, ni cómo son enviadas, y deberá pasar algún tiempo antes de que dispongamos de técnicas experimentales para investigar esta cuestión. Bradfield [3] ha sentado una teoría a este respecto, pero la complejidad de su modelo se debe en parte a su creencia, compartida por Afzelius, de que no hay posibilidad de que las nueve fibrillas externas se dispongan helicoidalmente a lo largo de la cola espérmica o a lo largo del eje mayor de un cilio.

PIEZA MEDIA

Vemos esta estructura en sección longitudinal en la Fig. 6 y en sección transversal en la Fig. 5(*a*). Queda delimitada por una membrana doble de un espesor de 100 ångströms y contiene mitocondrios de un tipo muy característico. Se cree que la pieza media de un espermatozoo contiene sistemas enzímicos y provisiones de combustible interno necesarias para el movimiento espérmico, si bien hay pocas pruebas experimentales en apoyo de esta opinión. Nosotros, junto con Cleland [13], hemos llegado tentativamente a la conclusión de que las piezas medias de los espermatozoos del erizo de mar que agotaron sus reservas de combustible interno son más pequeñas que las de los espermatozoos recientes. Nos hemos percatado también de que la pieza media contiene gran número de lípidos, hallazgo interesante ya que los espermatozoos del erizo de mar metabolizan fosfolípidos para proporcionarse energía para sus movimientos. Aparte de estas observaciones fragmentarias, poco conocemos acerca de las funciones de la pieza media.

CABEZA

La función de un espermatozoo es estimular el desarrollo del huevo y proporcionar genes de origen paterno al futuro embrión. Esta última función la realiza el núcleo, que constituye la mayor parte de la cabeza. El núcleo está envuelto por

una membrana doble de unos 150 ångströms de espesor, alrededor de la cual hay otra membrana algo más delgada que cubre la superficie total del espermatozoo (Fig. 6).

Cuando un espermatozoo fecunda un huevo, primeramente se adhiere a su superficie; finalmente, penetra dentro del mismo. Para realizar esto, en primer lugar, debe pasar a través de la membrana plásmica, que se compone probablemente de lípidos o lipoproteínas. Es posible ver la membrana en la Fig. 7, que muestra un espermatozoo adherido o en vías de adherirse a la superficie del huevo. La disolución de la membrana plásmica en el punto de adherencia del espermatozoo fecundante la realiza probablemente una sustancia que es posible extraer del espermatozoo del erizo de mar y se llama Lisina Espérmica (I), o Androgamona III (A. III). Esta Androgamona III hemolisa los glóbulos rojos y actúa sobre la superficie de los huevos de un modo parecido al veneno de la abeja y a los detergentes [14]. Es posible que sea un ácido graso no saturado de cadena larga. Se ha tenido hasta recientemente poca información directa respecto de la localización de A. III en los espermatozoos de erizo de mar, si bien, por razones obvias, el lugar más probable es la parte frontal de la cabeza. La Fig. 6 muestra que la extremidad de la cabeza espérmica se diferencia morfológicamente del resto de la misma, que contiene material nuclear. En micrografías electrónicas [1], hay una estructura esférica por encima de la invaginación nuclear, escasamente visible en la Fig. 6. Estamos tentados de creer que la A. III se localiza en esta parte de la cabeza espérmica, bien en el cuerpo esférico o bien en la invaginación. La disolución de la membrana plásmica del huevo puede observarse en la Fig. 7 en las proximidades del extremo anterior de la cabeza espérmica. A derecha e izquierda de esta región la membrana está intacta, al mismo tiempo que alguna sustancia parece unir la cabeza espérmica con la región destruída de la superficie del huevo. En la micrografía electrónica original, esta «sustancia» es un cuerpo esférico algo menor en diámetro que el reproducido por Afzelius. Aun cuando la sección del espermatozoo en la Fig. 7 es un tanto oblicua, de modo que el extremo de la cabeza se encuentra encima o debajo del plano de la sección, es más bien un caso de suerte poder impedir la fertilización en el momento de adherirse el espermatozoo a la superficie del huevo, encontrar luego el huevo mismo y hacer un corte en el plano preciso. Ello es gran lástima, porque significa que el examen de varios huevos en tal condición precisamente, que fuera de desear para poder establecer ciertas generalizaciones, presenta dificultades considerables.

En algunas especies de erizo de mar, desde la extremidad de la cabeza espérmica se eyacula un proceso filamentoso, llamado algunas veces filamento acrosomático, cuando el espermatozoo entra en contacto con agua que tuvo huevos en suspensión. La Fig. 8(izquierda) muestra el espermatozoo del erizo de mar japonés, *Hemicentrotus pulcherrimus*, en suspensión en agua de mar normal. La Fig. 8(derecha) es una micrografía electrónica de un espermatozoo de un erizo de mar de la misma especie en agua de mar que tenga huevos en suspensión. Las secreciones de los huevos no fertilizados en el agua de mar catalizan la expulsión del filamento acrosomático. No está bien definida la relación entre este filamento y la estructura en la extremidad de la cabeza espérmica en la Fig. 6. Se precisa un mayor número de experimentos para resolver esta cuestión, pero en lo que se refiere al espermatozoo del *Echinus esculentus* las pruebas existentes no dan a entender que la estructura invaginada salga proyectada de dentro a fuera cuando el espermatozoo se pone en contacto con la superficie del huevo.

Agradecemos al Profesor N. F. Mott el uso del microscopio electrónico Siemens del Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge; a Mr. R. W. Horne por su valiosa asistencia al tomar las micrografías electrónicas; al Profesor Sir James Gray por numerosas y estimulantes discusiones; y al Consejo de Investigaciones Médicas por habernos facilitado un ayudante para nuestras investigaciones.

BIBLIOGRAFIA

[1] Afzelius, B. A. *Z. Zellforsch.*, **42**, 134, 1955.
[2] Bradfield, J. R. G. *Quart. J. micr. Sci.*, N.S., **94**, 351, 1953.
[3] *Idem. Symp. Soc. exp. Biol.*, **9**, 306, 1955.
[4] Dan, J. C. *Biol. Bull., Wood's Hole*, **103**, 54, 1952.
[5] *Idem. Ibid.*, **107**, 335, 1954.
[6] Fawcett, D. W. y Porter, K. R. *J. Morph.*, **94**, 221, 1954.
[7] Gray, J. *Quart. J. micr. Sci.*, N.S., **94**, 551, 1953.
[8] *Idem. J. exp. Biol.*, **32**, 775, 1955.
[9] Hodge, A. J. *Aust. J. sci. Res.*, B, **2**, 368, 1949.
[10] Popa, G. T. *Biol. Bull., Wood's Hole*, **52**, 238, 1927.
[11] Retzius, G. *Biol. Untersuch.*, N.F., **15**, 55, 1910.
[12] Rothschild, Lord y Swann, M. M. *J. exp. Biol.*, **27**, 400, 1950.
[13] Rothschild, Lord y Cleland, K. W. *Ibid.*, **29**, 66, 1952.
[14] Runnström, J., Tiselius, A., y Lindvall, S. *Ark. Zool.*, **36**A, No. 22, 1945.
[15] Taylor, G. I. *Proc. roy. Soc.*, A, **209**, 447, 1951.
[16] *Idem. Ibid.*, **211**, 225, 1952.

La velocidad de la luz

L. ESSEN

Las discrepancias aparentes entre algunas de las primeras determinaciones sugirieron la noción de que la velocidad de la luz no era exactamente constante, sino que dependía del tiempo en que se hizo la determinación y de la frecuencia de la radiación utilizada. Sin embargo, el análisis de los resultados de los métodos más recientes contradice tal hipótesis.

La velocidad de la luz fué medida por vez primera en 1676 por el astrónomo Rømer, quién correctamente atribuyó las irregularidades en los tiempos en que tienen lugar los eclipses de los satélites de Júpiter al tiempo tardado por la luz en cruzar el diámetro de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Otro método astronómico, basado en el desplazamiento aparente de las posiciones de las estrellas producido por el movimiento de la Tierra, fué utilizado por Bradley cincuenta años más tarde; pero hasta 1849 no obtuvo Fizeau una magnitud a base de observaciones del tiempo de recorrido de un destello sobre la superficie de la Tierra. En el famoso experimento de Fizeau se producía un haz intermitente de luz, mediante una rueda dentada que giraba delante del foco luminoso, que se reflejaba en un espejo situado a unos 9 km de distancia. Cuando los destellos reflejados pasaban a través del espacio entre dos dientes de la rueda, se observaba una imagen brillante en un telescopio situado detrás de ella, pero si incidían en un diente la intensidad de la imagen era mínima. La velocidad de la rueda se ajustaba para que diera esta condición de mínima intensidad, y entonces se calculaba la velocidad de la luz por la distancia recorrida, la velocidad angular de la rueda y el número de dientes.

En la segunda mitad del siglo XIX se utilizó el valor de esta constante para cálculos eléctricos relacionados con problemas tales como la construcción de cables submarinos, llevándose a cabo muchas mediciones por métodos eléctricos y ópticos. Faraday, con su brillante clarividencia, había ya sugerido que la luz podía ser una manifestación de la energía electromagnética, y Maxwell dió forma a esta idea en su famosa teoría electromagnética de la luz, según la cual la velocidad de las ondas electromagnéticas en el vacío, $(\mu_0\varepsilon_0)^{-\frac{1}{2}}$, donde μ_0 es la permeabilidad y ε_0 la constante dieléctrica, es igual a la velocidad de la luz, c, siendo, pues, independiente de la frecuencia de las ondas. Esta conclusión fué comprobada por los resultados obtenidos. La medición eléctrica más precisa, realizada por Rosa y Dorsey, dió el valor 299 784 ± 30 km/s. El más famoso de todos los experimentos ópticos clásicos, llevado a cabo por Michelson, Pease y Pearson, utilizando un haz de luz en un tubo de metal en vacío de 1600 m de longitud, dió 299 774 ± 11 km/s.

En 1941, Birge [1] revisó los trabajos experimentales y llegó a la conclusión de que el valor más probable era 299 776 ± 4 km/s, y este valor fué generalmente aceptado como suficientemente preciso para las nuevas aplicaciones en física nuclear e ingeniería de radar y radio que iban adquiriendo entonces gran importancia. Pero para quien como nosotros, había estado trabajando en medidas eléctricas de precisión, unos límites de error de ± 4 km/s parecían demasiado optimistas en vista de la gran variabilidad de los valores observados, unos 50 km/s. Así pues, se decidió realizar una nueva determinación utilizando un instrumento denominado resonador de cavidad, que fué desarrollado durante la última guerra para la medida de frecuencias de ondas ultracortas. Consiste en un cilindro de metal hueco, o guía de ondas, cerrado en ambos extremos por unas placas de metal y acoplado eléctricamente a un oscilador y a un detector a través de unos pequeños orificios en las paredes. Tiene lugar una resonancia eléctrica cuando la longitud de la cavidad es $n\lambda/2$, siendo λ la longitud de onda de la radiación en la guía y n un número entero. Esta condición, que puede reconocerse por un aumento brusco de la intensidad de la señal en el detector, puede establecerse variando ora la frecuencia del oscilador ora la longitud de la cavidad. El valor de este instrumento radica en el hecho de que existe un máximo muy acusado en la resonancia, que hace posible fijar la frecuencia o la longitud con una precisión de 1 en 10^6, si se toman las precauciones adecuadas. Fué especialmente esta precisión para la fijación de frecuencias

y longitudes lo que hizo que el método del resonador de cavidad pareciese tan atrayente en comparación con los métodos ópticos.

Entre la frecuencia de resonancia, las dimensiones de la guía y la magnitud $(\mu_0\varepsilon_0)^{-\frac{1}{2}}$ existe una relación sencilla; se puede por lo tanto calcular la frecuencia si se adopta un valor para $(\mu_0\varepsilon_0)^{-\frac{1}{2}}$, que puede ser tomado como la velocidad de la luz en el vacío. Es más conveniente calibrar el instrumento midiendo directamente, en función de una frecuencia patrón, la frecuencia del oscilador correspondiente a una posición particular; si se miden las dimensiones y la frecuencia se obtiene un valor para la velocidad de la luz.

La primera determinación por este método fué realizada en 1946 en el *National Physical Laboratory* (en Teddington, Londres) [2], utilizando el aparato de la Fig. 1. El resonador de cavidad tenía la construcción geométrica más simple posible y fué montado en un recinto en el que se había hecho el vacío, para que el resultado no tuviera que ser corregido para tener en cuenta el índice de refracción del aire. Se hizo variar lentamente la frecuencia del oscilador en la región de 3000 Mc/s (longitud de onda 10 cm) hasta que se produjo resonancia, haciéndose entonces una lectura en la escala del galvanómetro. La frecuencia del oscilador correspondiente al máximo de resonancia fué medida con referencia a la frecuencia patrón y se determinaron las dimensiones de la cavidad mediante cuidadosas medidas metrológicas. La precisión obtenida al repetir las medidas en este experimento preliminar fué de

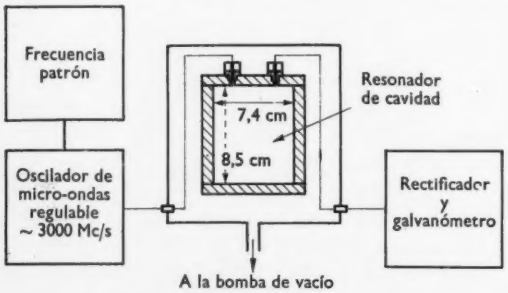


FIGURA 1 – *Determinación de la velocidad de la luz por medio de un resonador de cavidad de dimensiones fijas.*

± 1 km/s — unas cincuenta veces mejor que la de ninguna determinación anterior — pero se llegó a la conclusión de que había pequeños errores sistemáticos. Se redujeron éstos [3] utilizando la forma de resonador que muestra la Fig. 2. Se varió la longitud del resonador desplazando un émbolo, y se obtuvieron sucesivas resonancias a intervalos de $\lambda/2$. Se midió la distancia del desplazamiento mediante escalas situadas entre el final del vástago del émbolo y una placa fija. La longitud en la primera resonancia no es exactamente $\lambda/2$ a causa de los efectos de los extremos, pero se obtiene el valor real partiendo de la diferencia entre sucesivas posiciones. Además realizando medidas con diferentes frecuencias — en realidad se utilizaron valores entre 5000 Mc/s (6 cm) y 11 000 Mc/s (2,7 cm) — fué posible

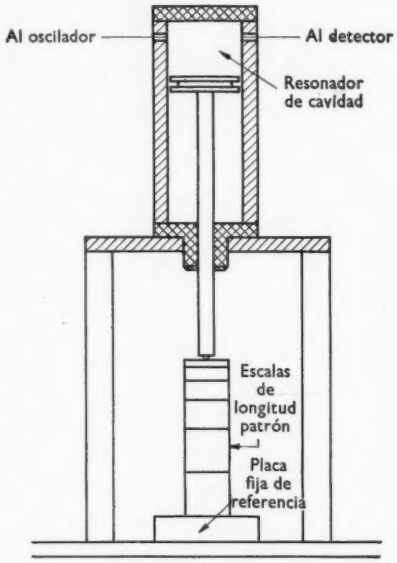


FIGURA 2 – *Resonador de cavidad de longitud variable.*

eliminar de los cálculos el diámetro y la resistencia de las paredes y expresar el resultado únicamente en función de frecuencias y longitudes. Esta fué característica muy importante del experimento, ya que es muy difícil calcular los efectos de las inevitables imperfecciones mecánicas y eléctricas de las superficies.

Otro resultado obtenido por el método del resonador de cavidad [4] en la Universidad de Stanford es 3 km/s más bajo que el obtenido en el *National Physical Laboratory*; esta pequeña discrepancia puede ser debida al hecho de que, debido a la forma de la cavidad, no se pudo eliminar experimentalmente los efectos de las imperfecciones de las paredes.

En medidas más recientes en el *National Physical Laboratory*, [5] se ha utilizado la disposición de micro-ondas en el interferómetro de Michelson (Fig. 3). Las ondas de longitud aproximada de 1,25 cm (24 000 Mc/s) recorren una guía de ondas hasta una bifurcación donde se dividen en dos

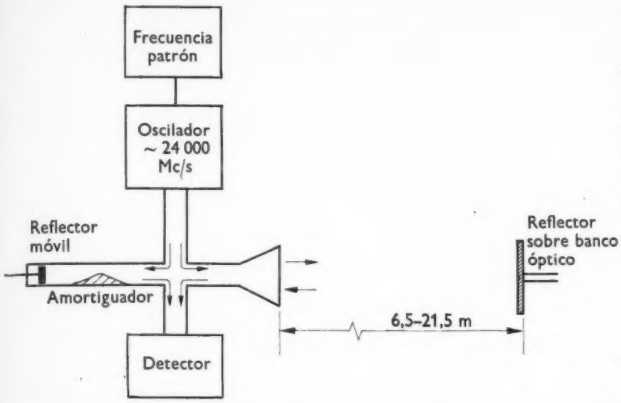


FIGURA 3 – *Determinación de la velocidad de la luz mediante un interferómetro tipo Michelson para ondas de radio.*

haces iguales. Uno de los haces se emite hacia el exterior por medio de una bocina y una parte del mismo, devuelta por un reflector alejado, entra de nuevo por la bocina hasta la bifurcación y de allí pasa al detector. El otro haz recorre una red de guías de onda y es reflejado otra vez hasta la bifurcación y de allí al detector después de haber sido amortiguado durante su recorrido en una proporción equivalente a la amortiguación del haz en el aire libre. Los dos haces de igual intensidad son, pues, recombinados en el detector, y la intensidad de la señal depende de sus fases relativas. Cuando el reflector situado en el exterior se acerca a la bocina, la fase del haz girará 360° por cada semilongitud de onda que aquel se desplace, y la señal detectada pasará por valores máximos y mínimos. El desplazamiento del reflector puede, pues, expresarse en función de longitudes de onda de la radiación, y, como también se puede medir la frecuencia con gran precisión, es posible determinar la velocidad ($c = \lambda f$). Hay que aplicar dos correcciones importantes, una debida al índice de refracción del aire y otra a la difracción de la onda. El índice de refracción fué medido [6] en un experimento preliminar con una precisión de 1 en 10^7, y el error de difracción, unos 16 km/s por término medio, fué determinado gracias a una combinación de la teoría y la experimentación. Una nueva medida de esta clase utilizando ondas más cortas [7] dará probablemente un valor con un error máximo de $\pm$ 1 en 10^6 ($\pm$ 0,3 km/s) a lo sumo.

Ha habido siempre investigadores dispuestos a especular, con pruebas bastante insuficientes, acerca de la variación de la velocidad de la luz según el tiempo o según la frecuencia. Afortunadamente, todos los resultados recientes han sido obtenidos mediante técnicas completamente diferentes y utilizando un amplio margen de frecuencias. Bergstrand [8] ha llevado a cabo varias medidas ópticas sumamente mejoradas con un instrumento llamado geodímetro, ideado para trabajos topográficos. Un haz paralelo de ondas luminosas, modulado a una frecuencia de 10 Mc/s por una célula Kerr, es reflejado por un espejo situado a unos 10 km de distancia. La onda reflejada es detectada por un tubo fotomultiplicador, cuya sensibilidad se hace variar a la frecuencia de modulación. La intensidad de la señal detectada depende pues de la fase de la onda reflejada y por lo tanto de la distancia recorrida. Otras dos características hacen que el método sea un éxito en la práctica. El haz es modulado por una onda cuadrada de 50 c/s de tal forma que en semiciclos alternos de 0,01 segundos de duración la fase de la modulación de 10 Mc/s se invierte. Hay pues en efecto dos haces, que recorren la misma trayectoria y que son combinados en oposición por el detector dando un cero muy acusado en vez de un mínimo plano, cuando la distancia recorrida es un número entero de semilongitudes de onda de la modulación. La segunda característica es una trayectoria artificial corta y calibrada, formada por múltiples reflexiones entre un juego de prismas, que permite determinar el cero del instrumento. Parece probable que el geodímetro reemplazará en algunas aplicaciones a los métodos corrientes de cinta para establecer bases geodésicas, determinándose las distancias mediante el tiempo de recorrido y la velocidad de los destellos, suponiéndose conocido el valor de esta velocidad. Pero en estos experimentos iniciales ha sido utilizado en bases geodésicas bien medidas, cuyas longitudes son conocidas, y ha dado valores exactos para la velocidad de las ondas luminosas, Los Estados Unidos prestaron un geodímetro al Servicio Topográfico Británico en 1953 para realizar comprobaciones experimentales en las bases geodésicas de Ridgeway y Caithness, obteniéndose resultados muy de acuerdo con los valores geodésicos [9]. Como el instrumento había sido previamente calibrado en el *National Physical Laboratory*, estas medidas pueden considerarse como una medición independiente de la velocidad de la luz, con un resultado 0,8 km/s menor que el obtenido por Bergstrand.

En una serie importante de determinaciones [10] se utilizó también una técnica desarrollada con fines topográficos, pero sobre distancias mucho mayores. Es una adaptación del sistema «Shoran» de radar, utilizando frecuencias de cerca de 300 Mc/s (longitud de onda 1 m). En su uso normal, una pulsación de ondas de radio emitida desde un aeroplano es devuelta desde dos estaciones en tierra, leyéndose los tiempos empleados en una escala grabada en la pantalla de un tubo de rayos catódicos utilizando las pulsaciones procedentes de un oscilador de cuarzo. La distancia del aeroplano a las dos estaciones en tierra se determina a base de los tiempos de recorrido y de la velocidad. Para usos de guerra las escalas de tiempo se ajustaron para poder leer directamente la distancia, aceptando el valor de la velocidad obtenido ópticamente, lo que daba la posición del aeroplano partiendo de las dos distancias. En los experimentos recientes, las dos estaciones en tierra estaban situadas en puntos cuya distancia (del orden de 160 km) había sido determinada con precisión por métodos geodésicos. El aeroplano voló a través de la línea de unión de ambas y se determinaron las distancias mínimas. Si se conoce también la altura del aeroplano se puede calcular la distancia horizontal entre las estaciones, y la comparación con los valores medidos da entonces el error en el valor de la velocidad de las ondas que se ha asumido para calibrar la escala de distancias. Una de las mayores dificultades fué la corrección debida al índice de refracción del aire, que varía considerablemente a lo largo de la trayectoria. Sin embargo, al fin se obtuvo resultados consistentes y ahora se utilizan métodos de radar para reconocimientos a gran escala en los Estados Unidos [11] y en Canadá [12].

Resultados de recientes determinaciones de la velocidad de la luz (c_0)

Fecha	*Autor*	*Método*	*Resultado* (*km/s*)	*Variabilidad experimental* (*km/s*)
1941	Birge	Estudio de los resultados hasta 1941	299 776 ± 4	Alrededor de 100
1948	Essen y Gordon-Smith	Resonador de cavidad	299 792 ± 3	7 (incluyendo efectos sistemáticos)
1949	Bergstrand	Optico, geodímetro de célula Kerr	299 796 ± 2	4,8 (diferencias entre valores medios de cada noche)
1949	Aslakson	Radar	299 792,4 ± 2,4	11
1950	Houstoun [14]	Optico, placa de cuarzo	299 775 ± 9	180
1950	McKinley	Optico, placa de cuarzo	299 780 ± 70	Trabajo realizado en 1937–38
1950	Bergstrand	Optico, geodímetro de célula Kerr	299 793,1 ± 0,25	5
1950	Essen	Resonador de cavidad	299 792,5 ± 1	1,5 (incluyendo efectos sistemáticos)
1950	Bol	Resonador de cavidad	299 789,3 ± 0,4	No se dan detalles
1951	Bergstrand	Optico, geodímetro de célula Kerr	299 793,1 ± 0,2	5
1951	Aslakson	Radar	299 794,2 ± 1,9	13,5
1951	Froome	Radio-interferómetro	299 792,6 ± 0,7	2,5
1952	Rank, Ruth y Vander Sluis	Líneas espectrales	299 776 ± 7	Análisis de los mínimos cuadrados
1954	Froome	Radio-interferómetro	299 793,0 ± 0,3	0,7
1954	Rank, Shearer y Wiggins	Líneas espectrales	299 789,8 ± 3	Análisis de los mínimos cuadrados
1954	Florman [16]	Radio-interferómetro	299 795 ± 3,1	Análisis de los mínimos cuadrados
1954	Plyler [15]	Líneas espectrales	299 792 ± 6	Análisis de los mínimos cuadrados
		Valor más probable ..	299 793,0 ± 0,5	

Hay aún otro método [13] que debe mencionarse a causa de su interés intrínseco y de su importancia potencial. Está basado en la determinación de las constantes moleculares del cianuro de hidrógeno mediante espectroscopía

óptica y de micro-ondas. En el primer caso los resultados vienen expresados en unidades de longitud de onda, y en el segundo en función de la frecuencia; combinando ambos se puede obtener la velocidad *c*.

Estas medidas recientes utilizando métodos muy diferentes han demostrado que no existe un cambio apreciable en el valor de *c* según la frecuencia, y si se ponen límites realistas a las medidas anteriores no existe tampoco ninguna evidencia de cambio con el tiempo.

Se ha preguntado a menudo cómo es posible que un error tan considerable en el valor de una constante de tanta importancia haya podido permanecer tanto tiempo sin ser descubierto. Nos parece necesario hallar una respuesta a tal pregunta. El primer punto que hay que tener presente es que, antes de 1946, los valores obtenidos eran promedios de gran número de observaciones que presentaban un margen de variabilidad de unos $\pm$ 50 km/s. En tales circunstancias no era posible investigar pequeños errores sistemáticos, aunque en dos de las mediciones más importantes, las de Michelson, Pease y Pearson y las de Anderson, los mismos autores señalaron dichos errores. A pesar de esas advertencias y quizás guiados equivocadamente por la cuidadosa preparación de los experimentos y el estrecho acuerdo entre los valores obtenidos con aparatos muy diferentes, la mayoría de los que revisaron esta materia dieron su estimación del valor más probable con un margen de error muy pequeño. Pero la evaluación de errores es muy difícil, incluso para los experimentadores mismos, y debe ser mucho más difícil para cualquiera que no tenga experiencia práctica del método. No es, por lo tanto, realmente sorprendente que los que revisaron estas medidas llegaran a conclusiones equivocadas acerca de la magnitud y del margen de error. Además estas revisiones ahorran mucho trabajo pesado a otros científicos y, una vez publicados tales resultados, raramente se hace referencia a los trabajos originales. Cualquier error tiende, pues, a ser mantenido. Tan firmemente se respetaba el valor dado en esas revisiones, que la reacción común frente al resultado del primer resonador de cavidad, a pesar de su gran precisión en comparación con cualquier otra determinación anterior, fué considerarlo como nuevo e interesante experimento que sin duda daría la respuesta exacta cuando se perfeccionase dicho método.

En la lista de valores incluídos en la tabla adjunta se indica, cuando es posible, la variabilidad de los resultados experimentales, junto con los límites señalados por los autores, para dar una idea de la precisión de las medidas.

REFERENCIAS

[1] BIRGE, R. T. *Rep. Progr. Phys.*, **8**, 90, 1941.
[2] ESSEN, L. y GORDON SMITH, A. C. *Proc. roy. Soc.*, A, **194**, 348, 1948.
[3] ESSEN, L. *Ibid.*, **204**, 260, 1950.
[4] BOL, K. *Phys. Rev.*, **80**, 298, 1950.
[5] FROOME, K. D. *Proc. roy. Soc.*, A, **213**, 123, 1952.
[6] ESSEN, L. y FROOME, K. D. *Proc. phys. Soc.*, B, **64**, 862, 1951.
[7] FROOME, K. D. *Proc. roy. Soc.*, A, **223**, 195, 1954.
[8] BERGSTRAND, E. *Ark. Fys.*, **2**, 119, 1950.
[9] MACKENZIE, I. C. C. Apéndice 6, Ordnance Survey Professional Papers, Nueva Serie, Nº 19.
[10] ASLAKSON, C. I. *Trans. Amer. geophys. Un.*, **32**, 813, 1951.
[11] *Idem. Proc. Amer. Soc. civ. Engrs*, **77**, 1, 1951.
[12] ROSS, J. E. R. Report for International Union of Geodesy and Geophysics, Tenth Annual Conf. 1954.
[13] RANK, D. H., SHEARER, J. N., y WIGGINS, T. A. *Phys. Rev.*, **94**, 575, 1954.
[14] HOUSTOUN, R. A. *Proc. roy. Soc. Edinb.*, A, **63**, 95, 1950.
[15] PLYLER, E. K. *J. opt. Soc. Amer.*, **44**, 507, 1954.
[16] FLORMAN, E. F. *Ibid.*, **44**, 507, 1954.

Una familia de grandes químicos orgánicos: los Perkin

SIR ROBERT ROBINSON

Este año se celebra el centenario del descubrimiento de la malveína — primer tinte sintético — por Sir William Perkin. Perkin tuvo el acierto de prever y la perseverancia de demostrar prácticamente las posibilidades del descubrimiento. Fundó no sólo la manufactura de los tintes sintéticos, sino toda la industria de la química orgánica. El talento químico era, felizmente, atributo de la familia y, con sus dos hijos, Perkin desempeñó un papel importante en el desarrollo de la química orgánica en Gran Bretaña. Los notables éxitos de esta famosa familia son relatados aquí por un brillante sucesor.

El primer laboratorio dedicado a la enseñanza de la química fué establecido, probablemente, por Lomonosov (1748) en San Petersburgo, pero el modelo para todas las instituciones posteriores fué instalado por Liebig en Giessen, en 1824, y casi todo el desarrollo ulterior de la química orgánica brotó de aquella fuente.

A. W. von Hofmann, que entró en la Universidad de Giessen en 1836 como estudiante de derecho, fué pronto atraído por Liebig y se dedicó a la química con éxito notable. En 1843 llegó a ser auxiliar de Liebig. Por esa fecha, en Inglaterra se estaba buscando un profesor para el *Royal College of Chemistry*, adscrito más tarde al *Imperial College of Science*. En vista de la reputación de la Escuela de Química Agrícola de Liebig, no es de extrañar que los ingleses tratasen de llenar el referido puesto con un digno representante de aquel grupo. Liebig propuso para el cargo al profesor Hofmann, que fué admitido gracias a la activa intervención del Príncipe Consorte. El período de 19 años vivido por Hofmann en Inglaterra fué de importancia fundamental por tres razones.

Primera: la enseñanza de la química orgánica y la inspiración de las investigaciones sobre esta materia en Inglaterra se derivaron, en gran parte, de Hofmann y sus colaboradores y discípulos, aunque es claro que, como ocurre en un ciclotrón, ese movimiento recibió de vez en cuando, impulsos adicionales de gran importancia de otras fuentes.

Segunda: los descubrimientos hechos por aquel grupo — tales como los obtenidos, por ejemplo, en la química de las aminas — consolidaron la teoría de la incipiente ciencia de la química estructural de los compuestos de carbono.

Tercera: quedaron adecuadamente establecidos los fundamentos de la industria química orgánica.

En todos estos desarrollos William Henry Perkin y sus hijos, William Henry y Arthur George, participaron eficazmente en diferentes formas y en diverso grado. Sir William Perkin no sólo fué un gran experto y descubridor en el campo de la química orgánica, sino también un hombre de carácter firme y emprendedor. Merece figurar entre los más insignes pioneros de su especialidad, y a veces arrostró graves riesgos para poner en claro la exactitud de sus juicios, frecuentemente en contra del consejo de sus superiores, incluyendo el propio Hofmann. William Henry Perkin, hijo, puede ser considerado en justicia como un químico orgánico más grande que su padre, pero navegó, por así decirlo, por mares más tranquilos, y se dedicó casi exclusivamente a la investigación científica pura. Arthur George Perkin fué también un astro de primera magnitud, aunque su brillantez es menos visible dentro de esta pequeña constelación que en comparación con otros químicos contemporáneos suyos.

Los antepasados de los Perkin fueron campesinos acomodados de Yorkshire o Cumberland, y es interesante hacer notar que Thomas Perkin (nacido en 1757) ganó fama local de ser aficionado a la química o a la alquimia; en un viaje que hizo a la casa de su abuelo, cerca de Ingleton, Sir William encontró una celda convertida en laboratorio. Thomas se trasladó a Londres, donde se dedicó a la construcción de barcos y otras formas de carpintería. Su hijo, George Fowler Perkin (nacido en 1802) extendió los negocios de su padre, y su nieto, William Henry Perkin nació en King David's Fort, Shadwell, el 12 de marzo de 1838. Parecía lo natural que este séptimo hijo se hubiese dedicado también al negocio de su padre, pero él explicó (en Nueva York, 1906) su cambio de ruta

con las siguientes palabras: «Cuando yo tenía de doce a trece años de edad, un muchacho amigo me mostró algunos experimentos químicos y la maravillosa propiedad de las sustancias de cristalizarse en formas definidas. Esto me impresionó de un modo especial y me hizo ver en la química algo muy superior a mis quehaceres anteriores. La posibilidad de hacer por mi parte nuevos descubrimientos me atrajo poderosamente. Mi elección quedó decidida, y resolví ser químico, si ello fuera posible, comenzando inmediatamente a coleccionar botellas de sustancias químicas y a ensayar experimentos.»

A su padre, hombre de espíritu liberal, le costó mucho trabajo persuadirse de que aquélla fuese una resolución acertada, pero al final cedió, y William dejó la escuela a la edad de 15 años, entrando en el *Royal College of Chemistry* para estudiar bajo la dirección de Hofmann. Terminó su primera investigación original a los 17 años, y publicó su primera memoria, en el *Journal of the Chemical Society*, en 1856. Su entusiasmo era tal que trabajaba en su casa por las noches y en los días de vacaciones, en un laboratorio que, aunque no muy bien equipado, servía para muchas labores. Allí, en King David's Fort, investigó por primera vez los productos de reducción del dinitrobenceno y el dinitronaftaleno. El interesantísimo resultado de este trabajo, realizado en colaboración con Church, fué el descubrimiento de una sustancia roja, la «nitrosonaftilina», a la que ya se había referido Hofmann en 1856, y que Perkin y Church demostraron en 1857 que se podía extraer más fácilmente de una sal de naftilamina por la acción de un nitrito. Sabemos ahora que esta sustancia es el aminoazonaftaleno, el primer compuesto azoico que se logró aislar. Las propiedades colorantes de esta sustancia causaron el establecimiento de una patente en 1863. Esta tiene también interés histórico, ya que protegía por primera vez la producción de un tinte azoico sulfonado, logrado mediante la aplicación de una reacción de nitrito a un ácido naftilamin-sulfónico. Quedó para Peter Griess, también un discípulo de Hofmann, descubrir las sales de arildiazonio y esclarecer el mecanismo de la formación de la sustancia roja de Perkin y Church.

Se dice en ciertos textos que el descubrimiento de la malveína fué realizado por Perkin cuando trabajaba en el laboratorio de Hofmann, lo que parece implicar la supervisión del maestro. Pero no es exacto: el trabajo fué concebido y ejecutado independientemente en el laboratorio doméstico de Perkin. Fué, sin embargo, el resultado de una observación de Hofmann sobre la posibilidad y la conveniencia de hallar una síntesis de la quinina. Hacía poco que se habían establecido las relaciones existentes entre los pesos moleculares de los compuestos orgánicos simples, tales como el alcohol y el éter, debido principalmente a la admirable labor de Williamson en 1852; y en cuanto a los pesos atómicos, éste es el período de la clásica memoria de Cannizzaro. Se sabía muy poco acerca de la estructura molecular de los compuestos cíclicos. En realidad, el espléndido edificio de la química orgánica estructural, tal como lo conocemos hoy, fué erigido durante los pasados cien años. En 1856, se pensaba que a todo compuesto puro correspondía una cierta composición empírica y que por lo tanto para sintetizar una sustancia sólo hacía falta formar una molécula que presentara la deseada composición. Así — se arguía — la quinina ($C_{20}H_{24}O_2N_2$) podía ser producida por la oxidación de dos moléculas de $C_{10}H_{13}N$ según la ecuación:

$$2C_{10}H_{13}N + 3O = C_{20}H_{24}O_2N_2 + H_2O.$$

La sustancia más próxima conocida era la toluidina (C_7H_9N); para obtener de ésta $C_{10}H_{13}N$, un átomo de hidrógeno debía ser sustituído por C_3H_5, es decir, por el conocido grupo alilo. Por eso Perkin trató la toluidina con yoduro de alilo, reacción que produjo la deseada aliltoluidina ($C_{10}H_{13}N$). Cuando ésta fué oxidada con bicromato en solución ácida, se produjo un precipitado castaño. Aunque no se obtuvo quinina, Perkin se interesó en la reacción y ensayó el mismo proceso con bases más simples. Con sulfato de anilina y bicromato de potasio obtuvo un precipitado negro, que tuvo la curiosidad de examinar. Con alcohol hirviendo extrajo de él una materia colorante malva, y pronto halló que ésta era capaz de teñir la seda y que los tintes eran relativamente resistentes a la luz y al lavado. Todo esto tuvo lugar entre la Pascua y el mes de junio de 1856. Perkin envió muestras teñidas a la sociedad Pullar de Perth, y el 12 de junio recibió el siguiente comunicado:

«Si su descubrimiento no hace los artículos demasiado caros, es sin duda uno de los más valiosos que se han realizado hace mucho tiempo. Este color venía siendo muy solicitado para toda clase de artículos, pero no se podía obtener de calidad resistente para las sedas, y a gran costo solamente en las hilazas de algodón. Le remito una muestra del mejor lila que tenemos en algodón; sólo se fabrica por una casa del Reino Unido,

pero no resiste las mismas pruebas que el de usted, y se desvanece con la exposición al aire».

Animado con esto, Perkin ya no retrocedió nunca. Con la más admirable perseverancia, ayudado por su hermano mayor Thomas D. Perkin, fué venciendo todos los obstáculos que halló en su camino, y fundó no sólo la manufactura de tintes sintéticos, sino toda la industria de la química orgánica. Rápidamente, decidió intentar la explotación comercial de su descubrimiento, siendo eficazmente ayudado por su padre, quien, según las palabras de Perkin, «arriesgó noblemente la mayor parte del capital que había reunido en una vida de grandes trabajos, para hacer posible la producción de la sustancia descubierta.»

Pero Hofmann, a quien Perkin informó de sus intenciones en octubre, se mostró desalentador e insinuó que este paso en falso podría ocasionar la ruina de una carrera prometedora. Perkin persistió, sin dejarse desanimar por su falta de experiencia en ingeniería química. No era de extrañar tal inexperiencia, pues las operaciones que había que realizar eran de un tipo tan nuevo que no le cabía ayudarse con la imitación de las prácticas existentes. Es su poderosa y persistente actividad de precursor lo que otorga a Sir William Perkin su pleno derecho a la fama. El descubrimiento de la malveína fué un ejemplo de aguda observación, pero tenía escasa significación en sí mismo. Lo verdaderamente importante fué que el joven Perkin tuvo una clara visión de sus posibilidades. Parece como si hubiera sido inspirado por un sentido misionero, no vacilando un instante cuando tuvo que hacer frente a los problemas, poco conocidos para él, de la tecnología química y del comercio. El generoso impulso y el ardiente entusiasmo de Perkin le apartaron de las investigaciones de la química pura, pero sólo en cierta medida. Siempre estuvo interesado en alguna investigación de las consideradas como de tipo académico, y al final de su vida, volvió al centro de estudio de donde se había alejado. Sin embargo, nunca se ponderará bastante el hecho de que William Perkin fué el verdadero precursor de la industria de la química orgánica, no porque descubriese la malveína, sino porque trabajó activamente en favor de su manufactura y de su distribución.

Las dificultades de esta empresa fueron realmente extraordinarias. En primer lugar, el benceno, que había sido extraído de la brea de hulla por Mansfield, discípulo de Hofmann, hacía poco tiempo, se fabricaba solamente en cantidades muy limitadas. Se logró al fin de una firma de Glasgow un producto crudo; costaba 5 chelines por galón y tenía que ser cuidadosamente fraccionado. Por su parte, el nitrobenceno se había conseguido solamente en pequeñas cantidades mediante el uso de ácido nítrico humeante. Fué Perkin quien introdujo el uso de una mezcla de ácido nítrico o nitrato de sodio con ácido sulfúrico, adoptando en seguida vasijas de hierro fundido en vez de los frascos de vidrio que se venían considerando necesarios para tales operaciones. Ninguno de estos importantes avances técnicos se logró sin las inevitables dificultades iniciales incluyendo algunas explosiones; pero Perkin tuvo el valor de persistir, y sus métodos fueron muy pronto adoptados por otros. Por ejemplo, la firma de Simpson, Maule and Nicholson fabricó nitrobenceno (y más tarde anilina), y Perkin obtuvo provisiones de aquella casa cuando la demanda de malveína se hizo tan grande que los talleres de Greenford, cerca de Harrow, no bastaban para satisfacerla.

En 1854, Béchamp había descubierto que el nitrobenceno podía reducirse fácilmente a anilina por medio de limaduras de hierro y ácido acético diluído. Con su característica perseverancia, Perkin hizo de este proceso un éxito técnico, y no es necesario subrayar que la manufactura de anilina y sus homólogos le dan pleno derecho a ser llamado el fundador de esa industria, y no sólo el descubridor afortunado de una materia colorante.

Es una nota típica de la industria de los colores sintéticos la de estar sujeta a continuos cambios debidos a la introducción de nuevos productos; así ocurrió al principio y así sigue ocurriendo hoy. El descubrimiento de la malveína por Perkin estimuló a otros a experimentar con la oxidación de aminas aromáticas, y uno de los primeros frutos de estos ensayos fué el descubrimiento de la Magenta por Verguin en 1859. Este tinte fué manufacturado por Perkin & Sons usando el proceso de nitrato mercúrico (Knosp, 1859; E. P., T. D. Perkin). Otros tintes de tipo básico manufacturados por Perkin fueron la Dahlia, obtenida por la acción del yoduro de etilo sobre la malveína; Safranina (Grenville Williams, 1859), y Britannia Violets, que se obtenía calentando Magenta en solución metanólica con trementina bromatada bajo presión. Estos tintes tenían una serie de matices, y una variedad azul fué convertida parcialmente en el popular Verde de Perkin, calentándola con cloruro acetílico. En esta ocasión se fabricaron por primera vez el tricloruro de fósforo y el cloruro acetílico.

Un éxito de parecida importancia al de los

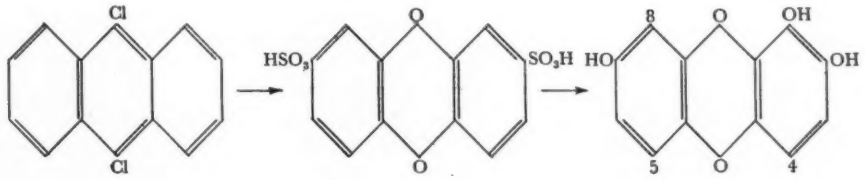
tintes de trifenilmetano y azina fué la producción de alizarina artificial. Esta materia colorante de la rubia venía siendo asociada con el naftaleno, pero Graebe y Liebermann descubrieron en 1868 que se derivaba del antraceno. Un año más tarde, los dos investigadores citados hallaron una síntesis — la primera obtenida de una materia colorante natural compleja — basada en la fusión de dibromoantraquinona con hidrato potásico. Como los primeros trabajos de Perkin bajo la dirección de Hofmann habían estado relacionados con el aislamiento del antraceno derivado de la brea de hulla y con la preparación de la antraquinona y el cloro-antraceno, nuestro químico se hallaba en una excelente posición para atacar el problema de la síntesis de la alizarina en escala industrial. La síntesis del fenol, extraído del ácido benceno-sulfónico por fusión de álcali, fué descubierta por Kekulé y Wurtz en 1867, y Perkin trató de hacer ácido antraquinonadisulfónico con la esperanza de poder aplicar la misma reacción a la formación de alizarina. La patente que describía el desarrollo efectivo de esta idea fué inscrita un día después que otra similar obtenida en Alemania por Caro, Graebe y Liebermann. Se negoció un acuerdo por el cual los derechos ingleses fueron asignados a Perkin & Sons. No mucho más tarde, en 1869, Perkin superó su método anterior con otro basado en la sulfonación de 9:10 dicloroantraceno con formación de ácido antraquinonadisulfónico. La alizarina obtenida con el primer método contenía antrapurpurina y flavopurpurina, mientras que la lograda con el nuevo proceso fué más exactamente descrita como antrapurpurina (1:2:7-trihidroxiantraquinona), que contenía algo de alizarina y algo de flavopurpurina.

Pero en 1874, los talleres de Greenford Green fueron vendidos por Perkin a la firma Brooke, Simpson y Spiller, quienes más tarde los trasladaron a Burt, Bolton y Haywood. Esta firma trasladó la manufactura de alizarina a Silvertown, donde la empresa se convirtió en la British Alizarine Co. Perkin fué, de este modo, el causante de la fundación de dos ramas separadas de la industria de los colorantes artificiales, y debe añadirse que él introdujo además el sistema de servicios técnicos para tintoreros y otros clientes, que llegó a ser más tarde un arma tan poderosa en manos de los fabricantes alemanes.

Después de retirarse de los negocios a la edad de 36 años, Perkin se dedicó a la investigación pura. Entre sus aportaciones en esta esfera figuran las siguientes:

En 1858, realizó con Duppa la primera síntesis de la glicina, calentando una solución de ácido bromo-acético en amoníaco acuoso. Perkin y Duppa aclararon muchos aspectos de la relación entre los ácidos maleico y fumárico y los ácidos tartáricos isómeros. Ellos no podían, naturalmente, en aquella etapa de desenvolvimiento, comprender a fondo los problemas implicados. La síntesis del ácido DL-tartárico extraído del ácido dibromosuccínico se debió a los dos citados investigadores.

Perkin dividió la sustancia malva en tres componentes e identificó en su material inicial las bases que originaban cada uno de ellos. Aunque logró con esto una idea general de su estructura, la constitución de una de estas sustancias fué por primera vez precisada por O. Fischer y Hepp en 1888 mediante la síntesis de la pseudomalveína de Perkin. Esta era el componente derivado de la

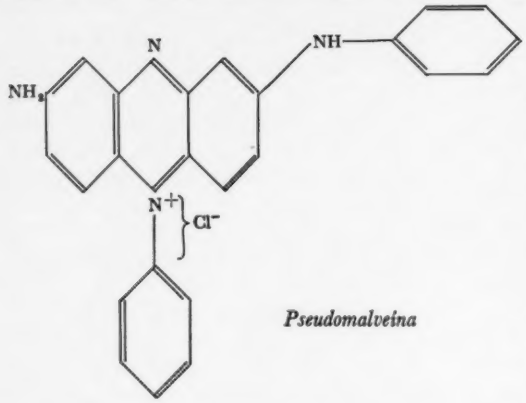


Sólo mucho más tarde se vió que la fusión álcali implicaba oxidación, que el ácido antraquinonamonosulfónico es el intermediario de la alizarina y que el rendimiento puede ser aumentado por la adición de un agente oxidante (nitrato, clorato) a la fusión.

En 1869, Perkin & Sons fabricaron una tonelada de pasta de alizarina, y en 1873, 435 toneladas.

anilina solamente, y la síntesis probó que tenía la estructura anexa.

Reduciendo amino-azonaftaleno, Perkin y Church hicieron el primer diaminonaftaleno y descubrieron el método de degradación de los colorantes azo, que se ha utilizado siempre desde entonces como procedimiento analítico clásico.



Pseudomalveína

Más tarde, Perkin usó amino-azonaftaleno para la formación de Rojo de Magdala por un método muy mejorado.

La síntesis de la cumarina, hecha por Perkin con sal sódica de salicilaldehido y anhídrido acético (1868) abrió un nuevo campo. Siguió a esto la reacción general de Perkin, la síntesis de ácido cinámico y derivados, en 1877. Este proceso recuerda el ejemplo similar del descubrimiento de la alizarina azul por Graebe, desarrollado más tarde por Skraup como método general de síntesis de los derivados de la quinolina.

Desde 1881, Perkin dedicó su atención principal al estudio del efecto de un campo magnético sobre el poder rotacional óptico de las sustancias orgánicas. Relacionó de una manera magistral la magnitud del efecto con la estructura, y mostró que sus resultados eran paralelos a los obtenidos en un estudio similar de los poderes de refringencia y dispersión. Su última memoria (1907) trata de la rotación magnética y la refringencia del hexatrieno y de las relaciones de esta sustancia con el benceno.

WILLIAM HENRY PERKIN (HIJO)

En 1859 Perkin se casó con su prima Jemima Harriet Lissett, descendiente de hugonotes. Su primer hijo fué William Henry (1860), seguido por Arthur George (1861). Mrs. Perkin murió poco después, de tuberculosis. Seis años más tarde, Perkin se casó con Alexandra Carolina Mollwo, de la que tuvo un hijo, Frederick Mollwo, y cuatro hijas.

El éxito financiero de los talleres de Greenford Green y la temprana edad en que Perkin, atraído por la investigación científica, dejó que sus trabajos fueran continuados por otros, facilitaron la dedicación de su hijo mayor a la ciencia pura. Pero, en este caso, el factor decisivo para el triunfo fué el talento químico, próximo al genio, que William Henry Perkin (hijo) mostró desde el momento en que manejó el primer tubo de ensayo. Estudió durante algún tiempo (1877) en el laboratorio de Frankland, en el *Royal College of Chemistry*. Allí verificó algunas investigaciones bajo la dirección de W. R. E. Hodgkinson. Una de éstas, «Sobre la acción del sodio sobre el acetato fenílico», publicada en el *Journal of the Chemical Society*, lleva, sin duda para quienes la conozcan, la impronta Perkin.

En la gran casa de Sudbury en que residían entonces los Perkin había un laboratorio en un cobertizo de la huerta, y los dos hijos trabajaban allí durante las vacaciones. Por lo que hoy se sabe, la única colaboración entre los dos hermanos Perkin fué un estudio sobre la pirólisis de la sal de plata y otros derivados de la antraquinona; éste puede haber sido, simplemente, resultado de la propincuidad, aunque el trabajo se publicó más tarde, en 1885 y 1888. Es extraño que los jóvenes químicos desdeñaran el hecho de que el producto rojo, que en realidad era sulfuro de diantraquinonilo, contenía azufre.

En 1880, William fué a Würzburg y estudió bajo la dirección de Wislicenus, no sin seria oposición de su padre, quien temía que en Alemania su hijo estuviera expuesto a la influencia de los librepensadores. Perkin ha rendido un caluroso tributo a Wislicenus en una memoria conmemorativa, leída ante la *Chemical Society*. Sin embargo, después de un breve interludio en el laboratorio de su padre, se unió al brillante grupo congregado en torno de Adolf von Baeyer en Munich. Fué allí entusiasta discípulo y, más tarde, íntimo amigo de aquel gran hombre, al que siguió haciendo una visita anual durante un largo período. Baeyer le encargó que estudiara las reacciones del ácido benzoilacético y sus ésteres. Por aquel tiempo no se conocía aún el elegante método de Claisen y el ácido tenía que hacerse reaccionando ácido fenilpropiólico con ácido sulfúrico y luego con agua:

$$Ph.C \equiv C.CO_2H + H_2O \rightarrow Ph.CO.CH_2.CO_2H$$

El ácido acetilénico se extraía del dibromuro de ácido cinámico mediante la acción de la potasa alcohólica, y el rendimiento era bastante pobre en la última etapa. Baeyer, en una de sus visitas al laboratorio, se quedó asombrado de la cantidad de éster benzoilacético que su nuevo discípulo había acumulado, y empezó a darle consejos contra la indebida prodigalidad en el uso de las

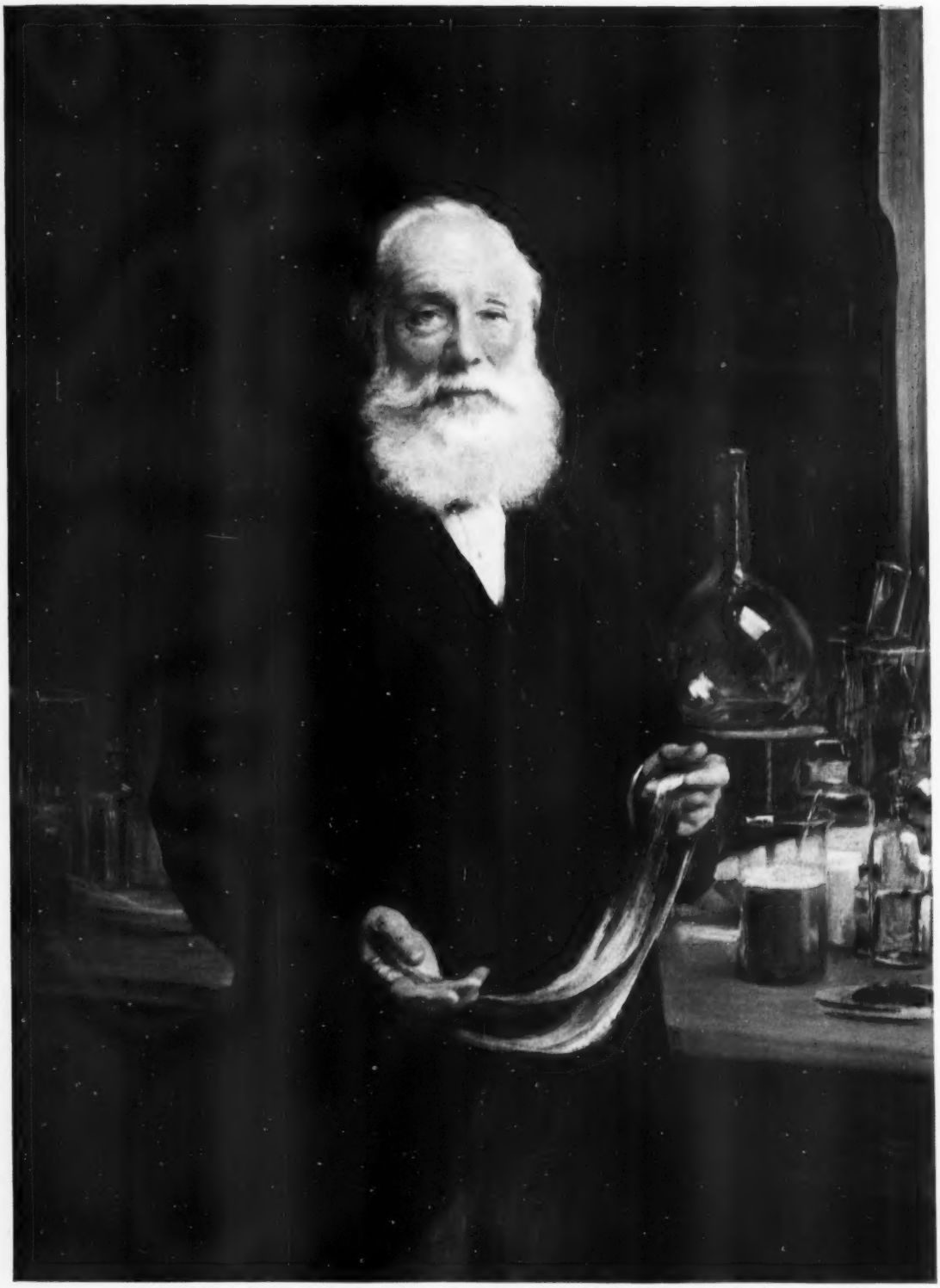


FIGURA 1 – *Sir William Perkin, según un cuadro de A. S. Cope, en la* National Portrait Gallery *de Londres.*

FIGURA 2 – *W. H. Perkin, hijo. Tomado de una placa conmemorativa, colocada en el Laboratorio «Dyson Perrins» de Oxford*

FIGURA 3 – *W. H. Perkin, hijo.*

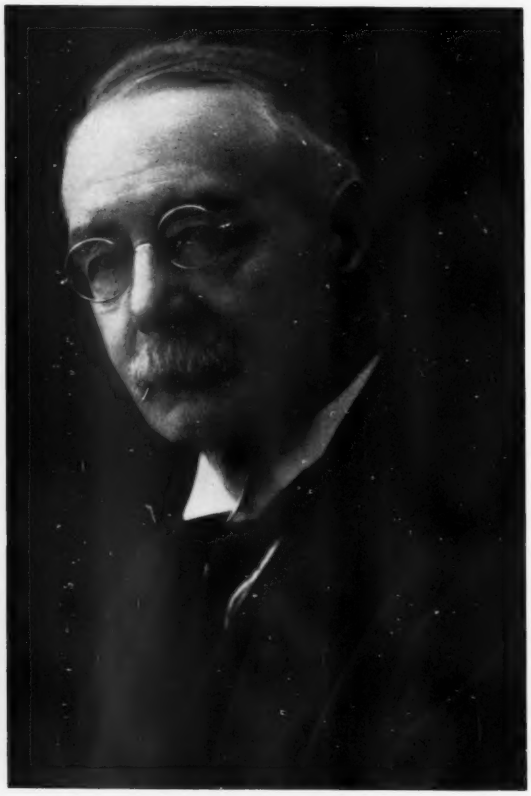


FIGURA 4 – *A. G. Perkin.*

sustancias, pero al oir las explicaciones de William (según éste me contó) Baeyer añadió: «Veo que no es usted tan necio como yo había creído».

Perkin llegó a ser *Privatdozent* en Munich, y aprovechó las oportunidades que esto le ofrecía, no sólo para la comunicación con otros espíritus afines, como Königs, Bamberger, Curtius, von Pechmann, Friedländer, O. Fischer y otros muchos, sino también para la participación en la típica vida de la Universidad y en el goce y la práctica de la música. Es de notar que todos los Perkin eran músicos y que lograron formar una orquesta de estatura casi profesional.

Fué allí donde comenzó una de sus más originales y transcendentales investigaciones, la de la síntesis de sustancias cuyas moléculas contenían anillos de carbono, incluso las de tres o cuatro átomos. Victor Meyer visitaba frecuentemente Munich, y una vez tuvo una larga discusión con Perkin respecto a sus planes para esa investigación. Meyer desechaba la idea porque pensaba que sólo podían existir anillos de cinco o seis átomos; al menos, no había pruebas de que se dieran otros tipos en los productos naturales, ni de que se pudieran obtener en los trabajos de síntesis. Emil Fischer y el propio Baeyer se adhirieron a la opinión de Meyer. Su argumentación era realmente válida en aquel tiempo, pero Perkin probó rápidamente que era falsa, puesto que encontró varios métodos para la producción de pequeños anillos de carbono, así como de otros de tipo más corriente.

En fecha posterior Perkin entró en controversia con Fittig, quien manifestó ciertas dudas sobre la exactitud de la opinión de aquél acerca de la naturaleza de su ácido *ciclo*-propanocarboxílico (ácido trimetilenocarboxílico). Fittig pensaba que acaso fuese un ácido vinilacético. Sin embargo, la síntesis de este último por Wislicenus resolvió la cuestión en favor de Perkin. Un avance posterior fué el trabajo sobre el alcanfor, y las síntesis del limoneno, del silvestreno y de los terpineoles.

Como resultado de una entrevista con H. B. Dixon en Montreal, durante la reunión en Canada en 1884 de la *British Association for the Advancement of Science*, Perkin volvió desde Munich a Mánchester por un corto período, y empezó allí sus importantes estudios sobre la brasilina y la hematoxilina. Este trabajo no progresó en aquel tiempo, pero fué reanudado al volver Perkin a Mánchester en 1892.

Después de fallar en su aspiración a la Cátedra de Aberdeen (fué nombrado F. R. Japp, quien mereció, y justificó plenamente su éxito), Perkin fué nombrado Catedrático de Química en el *Heriot Watt College* de Edimburgo, y cinco años más tarde aceptó la invitación de ocupar la Cátedra de Química Orgánica del *Owens College* (Mánchester), que había quedado vacante por la muerte de Carl Schorlemmer. Allí desarrolló una notable escuela de investigación y consiguió la concesión de nuevos útiles de trabajo, haciendo planes para la construcción de nuevos edificios.

En 1912 fué elegido Catedrático de Química de la Universidad de Oxford y *Fellow* del *Magdalen College*. Allí continuó con ardor infatigable sus brillantes investigaciones; atrajo entusiastas discípulos de muchas partes del mundo, y dejó en la Universidad la marca de su escuela química: nos bastará con mencionar el Laboratorio Dyson Perrins.

Goldschmiedt fué el primero que atacó la constitución de un producto natural, en este caso la papaverina, por oxidación de la sustancia con permanganato potásico, a fin de formar una variedad de productos cuya naturaleza pudiera ser determinada más fácilmente que la del progenitor. Estas simples moléculas eran así piezas que podían ser agrupadas de nuevo, frecuentemente superpuestas, para reconstruir el original como en un rompecabezas.

En Edimburgo y en Mánchester, y con cierta proyección sobre Oxford, Perkin aplicó esa idea con éxito notable a la berberina, alcaloide complejo, y a la brasilina y a la hematoxilina, usando en los dos últimos casos tipos de éter metílico. En su concienzudo estudio de la criptopina, y también en su trabajo sobre la estricnina y la brucina, el método fué algo diferente y consistió en un estudio de todas las transformaciones que pudo obtener de las moléculas complejas. Perkin siguió el ejemplo de Baeyer, y desarrolló en un grado extraordinario las cualidades que más admiraba en su maestro. Trabajaba a todas horas en su laboratorio con la mayor asiduidad y con sus propias manos, y tenía un agudo y maravilloso instinto en la selección de los mejores métodos para la separación de los componentes de los alquitranes y otras sustancias poco prometedoras.

Le interesaba poco la química teórica. Para él, la química era un arte u oficio destinado a embellecer el edificio del conocimiento de la estructura molecular. Este fué erigido, en gran parte, durante su vida, y él ofreció importantes aportaciones. Sabía adoptar rápidamente nuevas técnicas cuando estaba seguro de su valor; por ejemplo, llegó a ser muy hábil en la destilación por alto vacío.

Como conferenciante y profesor tuvo notables

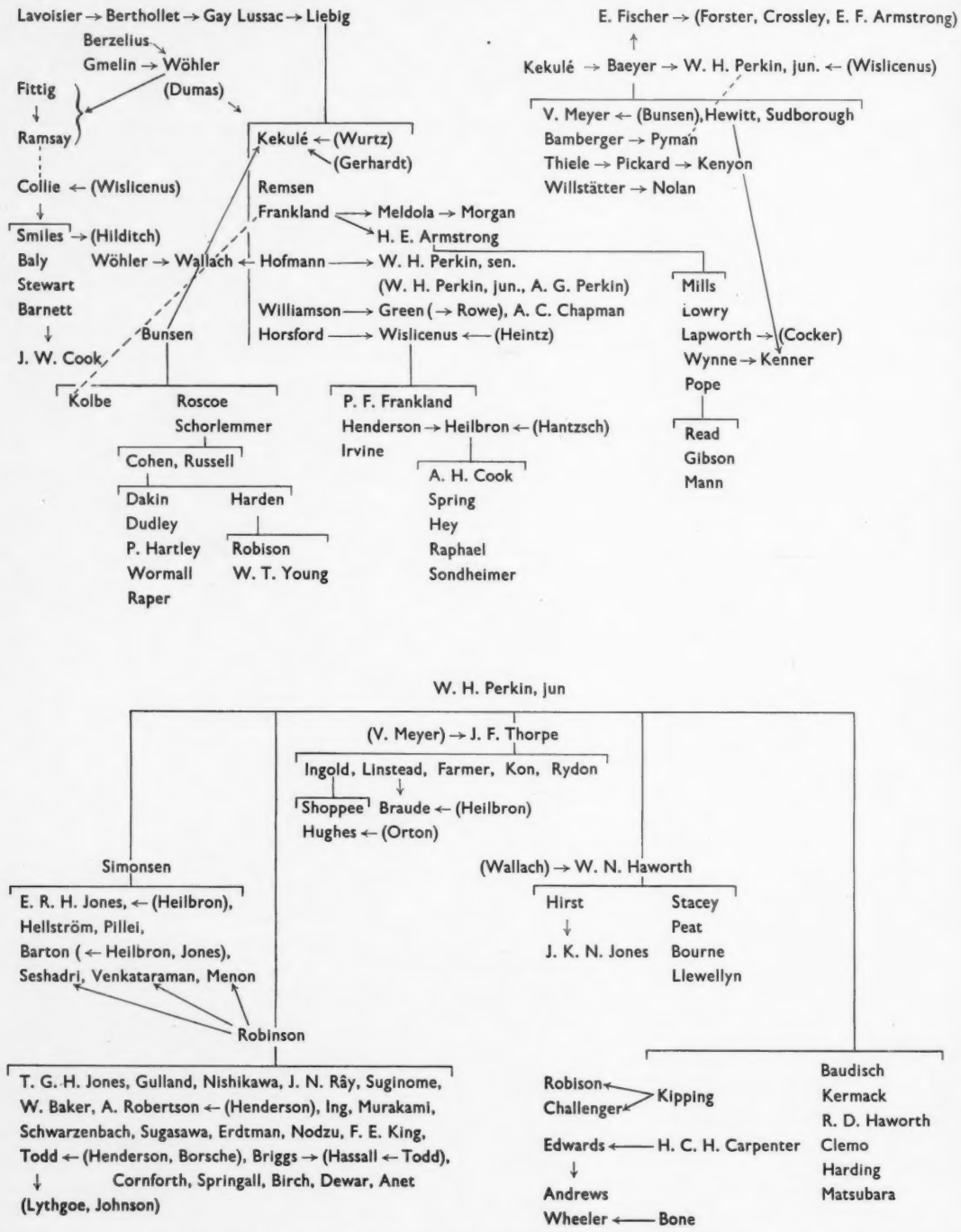


FIGURA 5 – *Asociaciones académicas de algunos químicos orgánicos, destinadas principalmente a subrayar la poderosa influencia de W. H. Perkin, hijo.*

éxitos, y su fama en este aspecto es reconocida, no sólo por los químicos orgánicos que tuvieron la suerte de colaborar con él en sus trabajos originales, sino también por el gran número de estudiantes que asistían a sus lecciones y conservaron la más vívida memoria de su característica lucidez de exposición.

Una de sus expresiones favoritas era: «Presentémoslo en forma de una pequeña tabla». Siguiendo este ejemplo, me parece oportuno presentar en esa forma la profunda influencia (o al menos parte de ella) que W. H. Perkin (hijo) ejerció sobre la química orgánica de la Gran Bretaña. Sólo figuran en mi tabla, que no pretende ser completa, los que han adquirido rango profesoral o han sido nombrados *Fellows* de la *Royal Society*. Hay seguramente importantes omisiones en la lista.

ARTHUR GEORGE PERKIN

Arthur George Perkin fué un niño débil del que no se esperaba que pudiese vivir mucho tiempo. A los seis años fué a un colegio de internos en Margate, y a los diez años se unió a William en la *City of London School*. La vida con su familia quedó reducida, por tanto, a las vacaciones, durante las cuales la principal ocupación de los dos muchachos era hacer experimentos químicos en el laboratorio de la huerta, donde cada uno de ellos tenía un banco. A los 17 años de edad, Arthur George entró en el *Royal College of Chemistry*, donde estudió bajo la dirección de Frankland y Guthrie. Hizo allí algunos trabajos originales y publicó una memoria sobre la acción del ácido nítrico en la di-*p*-tolilguanidina, en 1880.

Cuando William fué a Würzburg, Arthur pasó un año en el *Anderson's College*, de Glasgow. Luego ganó una beca, recientemente establecida por la *Worshipful Company of Clothworkers*, que le dió los medios para estudiar en el Departamento de Tintes del *Yorkshire College*, más tarde la Universidad de Leeds.

Allí trabajó con J. J. Hummel, por quien sintió sempre la más profunda admiración, y este contacto orientó la inclinación científica de Arthur hacia la química de los tintes naturales. Hizo de este tema su objetivo, y sus aportaciones en este campo le dieron fama internacional como pionero de reconocido mérito. Un trabajo que hizo en colaboración con Hummel se refiere a la acción de los ácidos fuertes, como el ácido sulfúrico, sobre la brasileína y la hemateína. Las llamadas sales de isobrasileína e isohemateína, producidas de este modo, fueron los primeros derivados del pirilio aislados y analizados, aunque la verdadera naturaleza de las sustancias no podía ser comprendida en aquel tiempo. Al terminar su beca, Perkin aceptó un puesto de químico en la firma de Hardman y Holden, de Mánchester. Fué sin duda influído en esta decisión por la naturaleza de los negocios de la firma, interesados en la manufactura de alizarina artificial. En 1888, Perkin fué nombrado administrador de los talleres.

En 1892, volvió al *Yorkshire College* como auxiliar con funciones de investigador. Aprovechó muy bien esta oportunidad, y durante un largo período trabajó asiduamente, a veces día y noche, ayudado frecuentemente por su mujer (*née* Bedford), estudiando los componentes de las maderas colorantes. Se interesó especialmente en los tintes de procedencia natural, y esto dirigió sus pasos hacia las antoxantinas, especialmente las de tipo flavonoide.

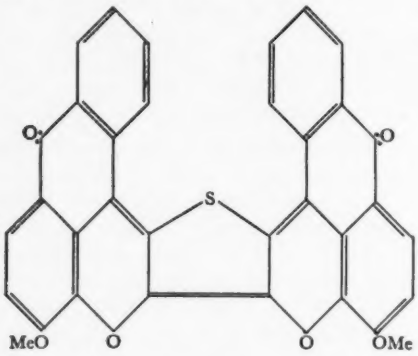
En 1916, Perkin sucedió a A. G. Green como Catedrático de Química de Colores y Tintes en la Universidad de Leeds. Sus deberes pedagógicos y administrativos eran cada vez más agobiantes, tanto más cuanto que su integridad no le permitía descuidarlos.

Según F. M. Rowe, su sucesor en la cátedra, el incremento de tales obligaciones condujo a Perkin en sus últimos años a dedicar su atención a estudios menos arduos. Sin embargo, trabajó asiduamente hasta el fin de su vida, y las investigaciones de sus últimos años no muestran ningún desfallecimiento en unas manos que pueden ser consideradas entre las más hábiles de las que han servido a la ciencia.

Se retiró en 1926 y murió en 1937. Aunque tuvo muchos colaboradores, tanto ingleses como extranjeros, unas 60 de sus 270 memorias fueron publicadas bajo su nombre. Fué esencialmente un trabajador individual, feliz con un solo objetivo en cada momento, y sin las poderosas facultades de su hermano para organizar la investigación en un amplio frente. Durante toda su vida, George Perkin trabajó con los derivados de la antraquinona, especialmente las sustancias hidroxilatadas de origen natural. Prestó particular atención a los fenoles dihídricos y trihídricos, parcialmente metilados, y descubrió métodos para determinar su estructura y su síntesis.

De 1922 a 1933 examinó los productos de reducción de las hidroxi-antraquinonas; determinó la estructura de los productos, y mostró que podían ser condensados en derivados de bisantraceno, incluyendo las naftadiantronas y las heliantronas. Su último trabajo, en colaboración con N. H. Haddock, estuvo dedicado a este tema. Al intentar la metilación del 3:4-dihidroxiantranol,

se obtuvo un tinte verde y se halló que la formación de la sustancia se había debido a una impureza del triclorobenceno usado como medio reactivo, que resultó ser tetraclorotiofeno; la probable constitución de la materia colorante se muestra en la siguiente fórmula.



La esencia del trabajo científico de Perkin consistió en una larga serie de investigaciones sobre las flavonas y los flavonoles de origen natural.

El tinte amarillo natural de *Reseda luteola*, era conocido de los galos en tiempo de Julio César. Su principio colorante fué estudiado primeramente por Chevreul y más tarde por otros investigadores; pero nada se sabía acerca de la estructura de sus moléculas. Perkin mejoró el método de extracción de esta luteína y mostró que era una tetrahidroxiflavona basada en floroglucinol y catecol. Muchos años después de que el uso común de la luteína fuera abandonado, los pliegues de seda de los uniformes militares seguían siendo teñidos con su brillante amarillo. Similarmente, el malva, también desechado en otros usos, se empleaba para colorear los sellos de un penique del tiempo de la Reina Victoria.

Perkin no fué el primero en descubrir la naturaleza de las materias colorantes flavonoides. Trabajos anteriores de Herzig (sobre la fisetina) y de Kostanecki y Piccard (sobre la crisina) sentaron las bases de este conocimiento, pero, debido a sus grandes ampliaciones del grupo, Perkin debe ser clasificado entre los citados precursores. Bastará citar, entre los hallazgos de Perkin, la apigenina (aislada primeramente por von Gerichten), la acacetina, la morina, la miricetina, la quercetagetina, la gossipetina, la ramnetina y la *iso*-ramnetina. Perkin descubrió también muchas sustancias aliadas a las flavonas, tales como la butina y la buteína (de la *Butea frondosa*), y estudió asimismo ciertas xantonas, como la gentisina. Reunió además la información que condujo más tarde al descubrimiento de la existencia de las isoflavonas.

Un tizón sacado del fuego resultó ser la carajurina, usada en otro tiempo como pigmento cosmético por los naturales del Alto Orinoco. Perkin obtuvo una muestra de un comerciante de objetos raros de Londres. El secreto de su preparación parece haberse perdido. El material presentaba dos sustancias cristalinas, de las cuales, la más abundante era la carajurina, de rojo profundo. Tuve el honor de tomar parte en la determinación de la estructura de la carajurina, que recientemente ha sido sintetizada por Seshadri. Debemos indicar, de paso, que los químicos indios y japoneses han ampliado mucho nuestros conocimientos sobre la importancia de los flavonoides, advirtiéndose claramente en sus trabajos la influencia de A. G. Perkin.

Perkin hizo también importantes aportaciones a nuestro conocimiento de las catequinas, y descubrió la curiosa sustancia cianomaclurina, que tiene la composición y estructura de una morina reducida, intermedia en estado de oxidación entre una catequina y un flavonol. La cualidad más saliente de Perkin fué su habilidad para manejar adecuadamente éstos y otros productos naturales; ideó muchos procedimientos útiles, y facilitó grandemente la labor de sus sucesores.

Como maestro, Perkin tuvo grandes éxitos, y su escuela de Leeds fué en realidad un campo de entrenamiento para muchos dirigentes de las industrias textiles y otras actividades relacionadas con tintes y pigmentos.

FREDERICK MOLLWO PERKIN

El tercer hijo de Sir William Perkin, Frederick Mollwo, colaboró con Arthur en algunos trabajos sobre la producción de purpurogalina. Escribió un libro de texto sobre análisis cualitativo, y uno recuerda con gratitud que se diese en él la composición de ciertos famosos reagentes como el de Mandelín, cuestión que se mantiene frecuentemente en el misterio. Frederick Mollwo fué un brillante asesor químico, pero habiendo sido su trabajo confidencial y no publicado, no podemos describirlo.

Revista de libros

ASTRONOMIA

HOYLE, Fred: *Frontiers of Astronomy.* XVI + 360 págs. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 52s.

Hace 40 años, la cuestión de si los cuerpos conocidos como nebulosas espirales eran miembros de nuestra Galaxia u objetos extra-galácticos aún no había sido decidida. Los modernos telescopios de gran tamaño nos han dado la respuesta y suministrado datos acerca de la distancia, tamaño, abundancia espacial y mociones a lo largo de la línea de mira de tales cuerpos, lo cual nos ha conducido a la concepción de un Universo en expansión, cuya interpretación no está muy clara.

Mucho más cerca de nosotros hay todavía gran número de cosas no bien conocidas: por ejemplo, la naturaleza del interior de la Tierra, la causa de las edades glaciales, el origen de las características lunares, la estructura de los planetas, el origen del sistema solar y la naturaleza de los rayos cósmicos. Sobre todas estas cuestiones existen nuevas e interesantes teorías. El descubrimiento por Baade de las dos poblaciones estelares diferentes ha dado nueva orientación a numerosas ramas de la investigación estelar; por otra parte, las nociones sobre la evolución de las estrellas parecen estar tomando forma bien definida.

En este libro, Hoyle hace frente a la gran tarea de reseñar los diversos progresos en la astronomía. Comenzando con la Tierra, marcha hacia la Luna, los planetas, el Sol y las estrellas. Estudia luego nuestra Galaxia, lo que le lleva a las galaxias en general, su formación y evolución. Finalmente trata de la expansión del Universo y de otras explicaciones distintas: la teoría de la explosión y la del estado estable, la cual implica la hipótesis de la creación continua de la materia.

En estas cuestiones es todavía muy grande nuestra incertidumbre, pero en aquellas materias para las que se han propuesto doctrinas diferentes, Hoyle nos las presenta objetivamente, aunque a veces, como es natural, no es difícil adivinar cuál sea la preferencia del autor. El libro es muy estimulante y debe ser leído por todos los que deseen hallarse al corriente de los actuales progresos en la astronomía.

H. SPENCER JONES

STÖRMER, Carl: *The Polar Aurora.* 437 págs. Oxford University Press, Londres. 1955. 55s.

Las auroras están estrechamente relacionadas con tipos importantes de irregularidad ionosférica, y así un libro sobre este tema encuentra lugar apropiado en la Serie de Monografías Internacionales sobre Radio. La pluma más autorizada en este terreno ha sido, durante los últimos 50 años, la de Carl Störmer, y debemos agradecer tanto a los editores como al Profesor Störmer, que en la actualidad cuenta más de 80 años, por la publicación de la presente obra.

En ella, la observación y la teoría se equilibran satisfactoriamente. Primero se presentan en detalle los datos observados: las formas aurorales y las medidas fotográficas y visuales de la altura y posición y la medida del espectro. Entre otros puntos estudiados se encuentran los poco concluyentes resultados hasta ahora obtenidos en los diversos ensayos de aplicar el radar a los estudios aurorales. La obra contiene algunas estadísticas, aunque, en general, éste es el aspecto de tales estudios al que el autor atribuye menor importancia.

Los trabajos hoy clásicos de Störmer sobre la trayectoria de los corpúsculos eléctricos en un campo magnético dominan, como es natural, la segunda parte del libro. En un capítulo aparte se describe la aplicación de esta teoría a los rayos cósmicos. El autor estudia en detalle las caractéristicas de la aurora explicables e inexplicables por esta teoría, y hace referencia a otras teorías propuestas por Chapman y Ferraro, Martyn, Alfvén y otros. Las complejidades de las auroras son tales que el autor opina que los problemas que plantean se resolverán únicamente en un futuro distante.

Este libro será durante muchos años la obra clásica de consulta en estos estudios. Su publicación es muy oportuna pues suministra a numerosos investigadores que se proponen tomar parte en el Año Geofísico Internacional un útil instrumento para conocer estos temas.

D. H. McINTOSH

VAUCOULEURS, Gerard de: *Physics of the Planet Mars.* 365 págs. Faber and Faber Limited, Londres. 1954. 50s.

El planeta Marte tiene interés especial porque es el único que posee una atmósfera cuya superficie es visible y porque se observan cambios en la configuración lineal de su superficie verdosa, los cuales pueden explicarse a base de la hipótesis de que dichas zonas están cubiertas de una vegetación similar a los líquenes que crecen en la Tierra. Además el crecimiento y desaparición estacionales de los casquetes polares y las frecuentes formaciones nubosas son prueba de la existencia de agua.

Este libro contiene un estudio muy completo de las observaciones sobre los fenómenos físicos en Marte publicadas durante los últimos cuarenta años, junto con un análisis crítico de las mismas. La obra se divide en cinco partes. La Parte I trata de la atmósfera de Marte, su composición, estructura y presión y las nubosidades. La Parte II estudia la climatología y temperatura marcinas; la Parte III los casquetes polares y el agua en Marte; y la Parte IV los detalles de su superficie, y su interpretación. La constitución interna del planeta está tratada en la Parte V, la cual va seguida de un sumario general y de una conclusión. Completa el volumen una amplia lista bibliográfica de referencias, un índice de temas y otro de nombres.

Nunca hasta ahora se había publicado un estudio tan completo de los fenómenos marcianos. La obra es una útil fuente de información sobre todas las materias referentes a Marte y será muy utilizada como instrumento de referencia.

La parte menos satisfactoria del libro es la reproducción de diversas fotografías de Marte, en las que no se puede observar gran parte del detalle que muestran los originales.

H. SPENCER JONES

BIOGRAFIA

GAEDE, Hannah: *Wolfgang Gaede.* VIII + 127 págs. Verlag G. Braun, Karlsruhe. 1955. DM. 5,80.

La creación de un vacío — por lo general, de un alto vacío — es condición necesaria para casi todas las investigaciones experimentales relacionadas con los modernos estudios sobre la estructura última de la materia, y elemento fundamental de lo que pudiera llamarse la industria eléctrica ligera y la obtención de energía nuclear. La moderna bomba neumática, a diferencia de la vieja bomba de cilindro y de la fatigosa bomba de mercurio manual, es creación de Wolfgang Gaede. Ya a la edad de 27 años inventó su bomba giratoria de mercurio y, un poco más tarde, su bomba de

cajón, que fueron seguidas por una serie de bombas basadas en nuevos principios, especialmente la bomba molecular y la bomba de difusión, todas ellas fundamentadas en un profundo conocimiento teórico, una clara comprensión de los principios físicos y un gran genio inventivo.

Este libro es obra de su hermana menor, compañera de sus juegos infantiles, confidente y amiga durante toda su vida de soltero. La obra nos relata su vida, desde su nacimiento en Freiburg en 1878 hasta su muerte en 1945, dando toda la importancia que merece a sus trabajos, que fueron su verdadera pasión. No le atraían ni la fama ni la riqueza, sólo buscaba el perseguir sus descubrimientos, empresa en la que sus notables facultades hallaron plena expresión. Tampoco era un recluso: los paseos por el campo, la navegación a vela acompañado de amigos, y el violín — que tocaba con excelencia — eran sus ocupaciones favoritas.

Sus últimos años son tristes. Perdió la fortuna que había reunido con sus invenciones durante la catastrófica inflación alemana de 1923, pero se dedicó a la enseñanza universitaria con gran éxito y continuó sus trabajos sobre la obtención y medición de los altos vacíos. En 1933, año en que se le otorgó la Medalla «Duddell» en Londres y el Anillo «Siemens» en Berlín, fué acusado por los nazis por sus ideas políticas y su amistad hacia los judíos y destituído de su cátedra universitaria, faltando muy poco para que fuera procesado. Al referirse a los interrogatorios de que fué objeto durante aquellos días dijo que tenía la sensación de que «o él se había vuelto loco o eran los otros los que estaban locos». Después de recibir un trato vergonzoso pudo continuar sus trabajos en un laboratorio particular que fué totalmente destruído por las bombas en 1944. Al año siguiente murió de difteria y desnutrición.

Este libro está bellamente escrito y traza una vívida descripción de los círculos intelectuales alemanes antes de la desaparición de la vieja civilización europea en 1914, dibujando asimismo el retrato íntimo de un hombre de raro genio inventivo y notable carácter.

E. N. DA C. ANDRADE

BIOQUIMICA

BRACKEN, A.: *The Chemistry of Microorganisms*. 343 págs. Sir Isaac Pitman and Sons Limited, Londres. 1955. 30s.

Los numerosos compuestos hallados en los cultivos de microorganismos a base de sustancias simples, tales como los azúcares y el amoníaco o los aminoácidos, han interesado siempre a los químicos y bioquímicos. Este libro contiene un estudio de esos compuestos y debe ser de gran interés a los químicos, ya que incluye un estudio completo de la química de los productos microbianos, así como una introducción a la microbiología.

Como preparación para el tema principal, los primeros capítulos tratan brevemente de la biología bacteriana, de las levaduras y mohos y del mecanismo de la acción enzímica, presentando ejemplos ilustrativos de gran interés. La obra estudia principalmente los productos extracelulares hallados en los cultivos de microorganismos (mohos en especial), pero se presta también cierta atención a los fenomenales poderes de sintetización de esos organismos, muchos de los cuales pueden formar complejos componentes celulares tales como los ácidos nucleicos y las proteínas a base de amoníaco y azúcares y aun de anhídrido carbónico. Se describe en detalle el uso de los microorganismos para la producción de antibióticos, solventes, ácido cítrico, vitamina B_{12} y otros compuestos. Se presta considerable atención a las investigaciones que condujeron al descubrimiento y explotación de la penicilina, estreptomicina y otros antibióticos, estudiándose asimismo en detalle los fenómenos químicos con ello relacionados. Gran parte del libro trata del aislamiento e identificación de los pigmentos microbianos y de numerosas sustancias aromáticas, alifáticas y heterocíclicas halladas en los cultivos de mohos. Al parecer se sabe más de la química de las mismas que de los procesos bioquímicos que conducen a su formación.

Un capítulo final presenta detalles prácticos de técnicas microbiológicas simples, tales como el aislamiento y mantenimiento de cultivos puros, datos que han de ser de gran valor para el químico que desee trabajar con microorganismos. Finalmente, se estudian algunos problemas aun no resueltos, incluyendo el modo de acción de los antibióticos y el mecanismo de tinción de Gram.

El valor que esta obra tiene como instrumento de referencia está aumentado por una extensa bibliografía y un índice completo. JUNE LASCELLES

LEES, H.: *Biochemistry of Autotrophic Bacteria*. VIII + 112 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1955. 21s.

La bioquímica de las bacterias autotróficas es todavía mal conocida, aunque es un tema en el que sería muy útil disponer de una concisa monografía para uso de los estudiantes universitarios. Desgraciadamente, el presente volumen describe las actuales investigaciones de manera desigual y, a veces, superficial; además, no se esfuerza por relacionar los problemas presentes con los que se estudian en otras ramas de la bioquímica. Por ejemplo, no se hace referencia al ciclo del ácido tricarboxílico en relación con la fijación del CO_2 por los heterótrofos, pero se da gran prominencia al más reciente aunque quizás menos comprobado ciclo fotosintético de Calvin. Muchas veces se introducen brevemente las nociones, pero no siempre se las define con precisión. Así, el concepto de «sistema cerrado» aparece en sólo una línea del texto y es acabado en una nota. Quizás el autor se haya esforzado por hacer su libro comprensible al profano inteligente, pero con ello le ha hecho menos valioso para el estudiante.

La mayor parte del libro está dedicada a una breve descripción de los autótrofos y sus grupos principales: las bacterias no fotosintetizantes conteniendo azufre, las bacterias hidrogénicas y nitrogénicas y las bacterias fotosintetizantes. También aquí el tratamiento es desigual. Por ejemplo, las recientes investigaciones de Larsen con *Chlorobium* spp. se presentan en gran detalle, pero se incluye escasa información sobre las bacterias púrpuras fotosintetizantes, aunque son mejor conocidas.

C. P. WHITTINGHAM

NEILANDS, J. B. y STUMPF, Paul K.: *Outlines of Enzyme Chemistry*. X + 315 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 52s.

Como su título indica, este libro contiene un estudio de las líneas generales de la química de las enzimas y será especialmente apreciado por los estudiantes que cuentan ya con conocimientos básicos de química y fisiología. Evitando todo detalle y buscando la claridad de expresión, permite que el lector obtenga rápida y fácilmente una visión general de la enzimología.

A lo largo del libro, los autores se esfuerzan por tratar las nociones principales brevemente, pero sin oscuridades, suministrando al mismo tiempo

las referencias necesarias para ampliar el texto, método de presentación — quizás consecuencia de que el origen del libro son las notas preparadas para lecciones — que lo hace fácilmente asimilable. Desde un punto de vista instruccional es muy efectivo, ya que los temas expuestos van ampliamente ilustrados con datos experimentales, detalles prácticos, o mediante la aplicación del principio estudiado a casos concretos.

Las dos primeras partes del libro — que son las que más han de interesar a los estudiantes de bioquímica — tratan muy adecuadamente del aislamiento y caracterización de las enzimas y de su comportamiento físico-químico. Las dos partes restantes: «Tipos de coenzimas y enzimas» y «Esquemas metabólicos», no están tan bien construídas, debido quizás a la naturaleza del material y al rigor de la condensación. El capítulo final, de R. Stanier, trata, de manera muy estimulante, de las aportaciones de la microbiología al conocimiento de los procesos de la síntesis enzimática.

Este libro servirá para dar a los estudiantes que se inicien en la bioquímica una clara noción de los principios físicos a que con tanta frecuencia se hace referencia en los estudios de las enzimas, y les mostrará, con toda seguridad, qué endebles son nuestros conocimientos del comportamiento enzimático y qué vastas las oportunidades para atacar estos problemas por medios físicos u otros. J. R. P. O'BRIEN

Biochemistry of Nitrogen. A Collection of Papers on the Biochemistry of Nitrogen and Related Subjects. (Dedicado a A. I. Virtanen en ocasión del 60° aniversario de su nacimiento.) (Consejo Editorial: N. J. Toivonen, E. Tommila, J. Erkama, P. Roine y J. K. Miettinen.) 535 págs. Suomalainen Tiedeakatemia, Helsinki. 1955. Encuadernado, $12; en rústica, $10.

Esta colección de trabajos publicados en honor del distinguido bioquímico finlandés A. I. Virtanen contiene 49 artículos sobre temas bioquímicos de interés actual, los cuales comprenden la bioquímica de los amino-ácidos, proteínas, ácidos nucleicos, porfirinas, la fijación del nitrógeno, la fotosíntesis y la reducción del nitrato. El terreno así cubierto es más amplio de lo que sugiere el título. Entre los colaboradores se encuentran E. J. Bigwood, R. H. Burris, A. Butenandt, M. Calvin, E. B. Chain, H. von Euler, C. Fromageot, G. Hevesy, C. N. Hinshelwood, F. Lynen, L. Pauling, H. Staudinger, J. B. Sumner, H. Theorell, A. Tiselius, A. R. Todd, O. Warburg y otros muchos bioquímicos de nota. Si bien algunos artículos son reseñas generales, como el de Todd sobre la síntesis de las coenzimas nucleotídicas, el de Hinshelwood sobre las mutaciones y adaptaciones de las bacterias y el de Staudinger sobre las macromoléculas en la biología, la mayoría son informes sobre nuevos trabajos experimentales. El libro contiene un interesantísimo panorama de la bioquímica actual. H. A. KREBS

CIENCIA GENERAL

BORNEMISZA, S. T.: *The Unified System Concept of Nature.* VIII + 137 págs. Vantage Press Inc., Nueva York. 1955. $3.

Este libro es poco común. Su autor se esfuerza por llegar a una doctrina general sobre los sistemas vivos e inertes en la naturaleza, su ordenación en jerarquías de diferente complejidad, y sus interrelaciones. Comienza contrastando los cambios cíclicos o recurrentes con los cambios estructurales discontinuos, distinguiendo lo que él llama las relaciones internas y externas de los sistemas y señalando que las relaciones externas de un sistema pueden ser las internas de otro de distinto orden. En relación con esto adquiere gran importancia el principio de la compensación de entropía. A continuación se consideran los sistemas biológicos y la doctrina de lo que se denomina la «imagen orgánica» según la cual «la materia orgánica viva entraña la reproducción de su ambiente circundante». Esta imagen orgánica contiene elementos no sólo del pasado, como la memoria, sino también del futuro, ya que determina la herencia.

La última parte del libro estudia la cuestión del paralelismo psicofísico. El autor parece apoyar la doctrina que encuentra cierto elemento vital en toda cosa.

En general, este libro está basado en firmes principios físicos. Sus disquisiciones filosóficas a veces parecen al lector iluminadoras y hasta elocuentes, pero en otros casos una a manera de ornamentación de lo evidente. Las páginas sobre la imagen orgánica pueden parecer a algunos un poco esotéricas, pero contienen, cuando menos, algunas verdades. Ciertos intentos de análisis de la relación entre los factores físicos y los fisiológicos son, por necesidad, un tanto especulativos, pero al reflexionar sobre ellos hallamos que no son más extraños que mucho de lo que se acepta normalmente en el psicoanálisis. C. HINSHELWOOD

BROWN, Roland Wilbur: *Composition of Scientific Words.* 882 págs. Publicado por el autor, del Museo Nacional de los Estados Unidos, Wáshington. 1954. $8.

Debido a la necesidad de expresar ideas nuevas y complejas, las ciencias han dado nacimiento a numerosísimas palabras nuevas, muchas de las cuales han llegado a ser de uso general. La mayoría se derivan de raíces latinas o griegas, pero la decreciente atención que hoy se presta a las lenguas clásicas en los primeros años de la instrucción de los estudiantes de ciencia ha sido, entre otras, causa de ciertos desarrollos poco satisfactorios en la nomenclatura científica. El autor del presente libro — edición muy aumentada de su *Materials for Word-Study* (1927) — se ha dedicado durante muchos años a la aplicación práctica del latín y del griego en la formación de términos literarios y científicos. Todas las personas interesadas en mantener la unidad de una lengua inglesa de alta calidad deben sentir profunda gratitud a Mr. Brown por haber publicado los resultados de sus estudios. Su propósito es doble: por un lado, mitigar algunos de los defectos de la composición terminológica mal fundada; por otra, combatir contra las palabras innecesarias y la proliferación de las jergas.

Aunque la mayor parte de la obra consiste de un léxico de palabras y raíces, también contiene excelentes secciones introductorias que incluyen el estudio del carácter de las lenguas latina y griega y las reglas para derivar de ellas términos científicos. Como es natural, se da la máxima importancia a los lenguajes clásicos, pero también se incluyen muchos otros — desde el sánscrito y el polinesio hasta el anglosajón y los dialectos aborígenes americanos — que han contribuído a enriquecer el idioma inglés.

Debemos sin embargo hacer una seria advertencia al lector. A menos que su disciplina de tal exceda en mucho a la del que estas líneas escribe, hallará que el tiempo se le pasa agradablemente leyendo secciones enteramente faltas de relación con las que se proponía estudiar. Lo cual no quiere decir que ese tiempo sea perdido, ya que la lectura de cualquier parte de esta obra será muy provechosa.

TREVOR I. WILLIAMS

SARTON, George: *The Appreciation of Ancient and Medieval Science during the Renaissance* (1450–1600). XVII + 233 págs. University of Pennsylvania Press, Filadelfia; Geoffrey Cumberlege, Londres. 1955. $5.

Aunque sólo le midieramos por la prodigiosa cantidad de sus publicaciones, George Sarton sería una figura sobresaliente en el mundo de la erudición. Pero, la producción voluminosa no es justo criterio del mérito. Sarton sobresale porque su colosal producción — sólo su *Introduction to the History of Science* tiene unas 5000 páginas en *quarto* de apretado tipo — mantiene siempre un muy elevado nivel de erudición. El libro que reseñamos no es una excepción; trata de la apreciación que el Renacimiento hizo de la medicina, historia natural, matemáticas, y astronomía antiguas y medievales.

El libro subraya al principio un punto importante y es que el gran número de ediciones renacentistas de antiguos tratados médicos y científicos no están motivadas por la curiosidad o el desinteresado deseo de conocimiento, sino por causas más utilitarias. En general, la reputación de las autoridades de la antigüedad y Edad Media era tan alta que se prestaba más atención a la obtención de textos exactos que a la consideración crítica del contenido de los mismos.

El enfoque renacentista típico de la ciencia era, en realidad, «un enfoque literario y retórico, y no experimental», aunque hubo algunos espíritus audaces e independientes, como Palisio, Paracelso y Pedro Severino.

En la sección médica, Sarton trata de la acogida que recibieron las obras de Hipócrates, Celso, Soranos, Galeno, los primitivos médicos bizantinos y Avicena; este último mantuvo su posición de suprema autoridad a pesar de la actitud anti-oriental de los estudiosos en medicina de la época. En la sección de historia natural, Aristóteles, Teofrasto, Dioscórides y Plinio reciben la mayor atención; en la matemática y astronomía, los nombres principales son, como era de esperar, Platón, Aristóteles, Euclides, Arquímedes, Apolonio de Perga y Tolomeo.

El libro está plenamente documentado, con unas 40 páginas de notas, y contiene un buen índice.

E. J. HOLMYARD

SHERWOOD TAYLOR, F.: *An Illustrated History of Science* (Ilustrado por A. R. Thomson). XII + 178 págs. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 25s.

Este libro — muy atrayente — es de los que el interesado en cuestiones científicas comprará atraído por su presentación para hallar luego que le es indispensable. Y no sólo al lector algo especializado, sino a un público mucho más amplio: todos aquellos a quienes interese la historia de lo que ha llegado a ser uno de los factores más importantes en la civilización moderna encontrarán irresistible esta obra. El texto, basado en las conferencias que el lamentado Dr. Sherwood Taylor pronunció en la *Royal Institution* durante las Navidades de 1952, presenta un estudio general de la historia de la ciencia desde los tiempos más remotos hasta nuestros días: no se trata de un *tour de force* de seca concentración, sino de una narración vívida, centrada en los experimentos fundamentales de la filosofía natural. Durante las conferencias, esos experimentos fueron presentados de la manera más próxima posible a su realización original; para compensar por la ausencia de esta ayuda visual, el autor ha tenido la feliz idea de introducir en el libro ilustraciones realistas. Ello suponía un grave riesgo, pues son bien conocidas la grotescas distorsiones que algunos artistas han hecho de la historia científica. Por fortuna, esta vez no ha sido así: los dibujos de A. R. Thomson interpretan de manera admirable los temas que ilustran. Haremos especial mención de los de Leeuwenhoek y Lavoisier, pero todos ellos son excelentes.

E. J. HOLMYARD

Kosmos Lexikon der Naturwissenschaften. Vol. II, L–Z. 904 págs. Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde; Frankh-'sche Verlagshandlung, Stuttgart. 1955. En tela, DM. 35,50; en cuero, DM. 42.

El primer volumen de este diccionario fué reseñado en *Endeavour* en abril de 1954; el segundo volumen completa la obra y nos permite juzgarla como un todo. Contiene, compilados y explicados por especialistas, más de 25 000 términos relativos a numerosas ramas de la ciencia. Entre las ciencias biológicas, que reciben especial atención, parece haberse favorecido en particular a la zoología, ya que la lista de colaboradores contiene nueve zoólogos y sólo un investigador para cada una de las demás ramas científicas mencionadas.

Como instrumento de referencia para un lector no especializado, pero interesado en el efecto que la ciencia causa sobre el mundo moderno, esta obra puede ser muy útil; la bibliografía recogida sobre el tema está en muchos casos bien al día y servirá para estimular lecturas posteriores. Nos parece, sin embargo, que el hecho de que cada artículo sea obra de un especialista ha llevado a descuidar un tanto aquellos campos de investigación donde se superponen dos o más ramas de la ciencia, tales como la bioquímica y la biofísica, aunque también éstos son interesantes para el lector general.

La tabla sobre el desarrollo de la humanidad (columnas 1863–65) puede parecer algo confusa al profano, y el estudio de la historia de las ciencias contenido en diez columnas no tiene valor real, ni siquiera para el lector no científico.

En conjunto, este diccionario es una obra notable que, con sus claros dibujos y deliciosas láminas en color, se convertirá seguramente en una de las publicaciones más populares de la casa Kosmos.

G. SCHLESINGER

FISICA

DE BROGLIE, Louis: *Physics and Microphysics.* (Traducción de M. Davidson.) 286 págs. Hutchinson's Scientific and Technical Publications, Londres. 1955. 21s.

Louis de Broglie, el fundador de la mecánica ondulatoria, es un conferenciante lúcido y estimulante sobre temas relacionados con la física en los que ésta se considera más bien como una rama del conocimiento que de la tecnología. El presente libro es una colección de 17 conferencias y disertaciones sobre tales temas, pronunciadas evidentemente ante públicos de distinto carácter y en diferentes períodos: una de ellas, por lo menos es anterior a la invención de la bomba atómica. Hubiera sido interesante conocer la fecha y la ocasión de cada disertación, pero el libro sólo las indica en dos casos.

El título se refiere a la física de los cuerpos ponderables en el sentido ordinario, comúnmente llamada física «clásica», en la que reinan la continuidad y la certidumbre, así como a la física de las partículas últimas y de las ondas, donde prevalece la teoría quántica y el principio de incertidumbre. Sin embargo, como era de esperar, la mayor parte del libro trata de la microfísica y, en especial, de las cuestiones en las que la mecánica ondulatoria representa papel importante: es un

ámbito en el cual la «física» ha quedado superada. Así, el primer capítulo, evidentemente escrito hace más de diez años, trata de la teoría mecánico-ondulatoria de la estructura electrónica del átomo, en forma bastante simple, tema que vuelve a aparecer en el segundo capítulo en bastante más detalle. En otro capítulo encontramos un tratamiento más técnico de la formación de imágenes en la óptica corpuscular, referente a las posibilidades del microscopio electrónico, en el cual se llega a la conclusión de que nunca llegaremos a ver — en un sentido microscópico — la estructura de los edificios atómicos. Esos capítulos, junto con algunas disertaciones más breves sobre temas afines, forman la primera parte del libro.

Una segunda parte, llamada (aunque no con toda propiedad) «filosofía científica», contiene los artículos más largos y característicos. Uno, llamado «Revelaciones de la Microfísica», trata de los corolarios fundamentales de la teoría quántica, especialmente de los principios de incertidumbre y la desaparición de la individualidad del corpúsculo con la influencia sobre el determinismo. Otro comienza con los recuerdos personales del autor del período inicial de la mecánica ondulatoria, para continuar con la consideración del campo nuclear, tratando temas de extraordinaria dificultad con magistral simplicidad de estilo. El capítulo que más se aproxima a una filosofía ortodoxa es el que estudia las nociones de Bergson, presentado en forma abreviada, como sucede en el caso de la mayoría de los capítulos finales, de menor interés, que tratan de la historia de las ciencias.

E. N. DA C. ANDRADE

GUGGENHEIM, E. A.: *Boltzmann's Distribution Law.* 61 págs. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1955. 5s. 6d.

Es siempre un placer reseñar un libro tan corto, elegante, útil y barato como éste. Hasta ahora, las simples bases de la termodinámica estadística venían generalmente presentadas enterradas bajo una masa de detalles matemáticos, o deducidas sólo como una al parecer irrelevante «interpretación» al fin de la exposición de la termodinámica clásica. El presente libro sigue una dirección más original e introduce la Ley de distribución, de Boltzmann, como un axioma para los estados discretos de distribución de energía, definiendo así implícitamente la temperatura y derivando sobre esta base expresiones para un número de propiedades. No se definen formalmente las leyes termodinámicas ni se menciona la entropía.

Los temas estudiados en detalle incluyen los gases monoatómicos y diatómicos, los cristales simples, la constante dieléctrica de los gases y el equilibrio químico en los gases. En todos estos casos, la exposición es clara, subrayándose importantes puntos cualitativos e indicándose los valores numéricos para dar bien al lector la idea del orden de magnitud. Sólo se presupone en el lector un conocimiento elemental del cálculo, y en el Prefacio se indica que el libro es de fácil lectura para los estudiantes universitarios de primer año. A nuestro juicio quizás sean necesarios más extensos conocimientos experimentales, pero no nos cabe duda de que el libro puede ser leído provechosamente durante la primera etapa de los estudios universitarios. Debemos pues felicitar al autor y a los editores por la publicación de tan excelente estudio.

R. P. BELL

MCDONALD, H. J.: *Ionography.* x + 268 págs. The Year Book Publishers Inc., Chicago; Interscience Publishers Limited, Londres. 1955. 48s.

«Ionografía» es el término que el autor de este libro propone para los procesos de electromigración de sustancias en medios estabilizados por papel, agar, o materiales similares. Aunque no se trata de una técnica nueva, el interés que ha vuelto a despertar este método en los últimos años, crea, para el que desea utilizarlo por primera vez, la dificultad de seleccionar, entre los numerosos aparatos, los más apropiados a sus necesidades. Al mismo tiempo, los detalles sobre sus aplicaciones específicas se encuentran dispersos en un número siempre creciente de revistas. Para auxiliar tanto al recién llegado como al investigador ya más experimentado, el Profesor McDonald y sus colaboradores se han esforzado por reunir en esta obra todos los datos posibles sobre la teoría, la técnica y las aplicaciones del método ionográfico. Se da predominante importancia a los sistemas de estabilización por papel, aunque también se estudian otros estabilizadores. El resultado es una obra interesante, debido principalmente a que el autor aporta a ella su experiencia personal, especialmente en los capítulos que tratan de la mensuración de la movilidad. Con buen criterio, se han omitido figuras de las separaciones reales, ya que éstas se reproducen mal, pero se han incluído bastantes diagramas y gráficos ilustrativos de ciertos detalles. En los capítulos que tratan de las aplicaciones, el autor y sus colaboradores han resumido los principales aspectos de ciertos estudios, presentándolos de manera amena e informativa. Hay además una completa bibliografía que contiene trabajos publicados hasta 1954.

A. J. WOIWOD

MAYER, M. G. y JENSEN, J. H. D.: *Elementary Theory of Nuclear Shell Structure.* 269 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 62s.

Durante muchos años se ha creído que no existía en la física nuclear nada comparable a la estructura — esencialmente simple — del átomo según resulta del sistema periódico de los elementos. Sin embargo, hacia 1948, la acumulación de datos precisos vino a indicar con toda claridad que existe una estructura de la corteza nuclear con características de sistema periódico. Mayer, en Norteamerica, y Haxel, Jensen y Suess, en Alemania, encontraron independientemente la explicación de este fenómeno. Desde entonces, el «modelo de la envoltura nuclear» ha sido de gran utilidad para la correlación del todo.

Tiene gran interés, por lo tanto, la aparición de un libro por Mayer y Jensen, los dos originadores de la teoría. En él se reunen con gran lucidez todos los datos experimentales que señalan hacia la existencia de una estructura cortical, seguidos de una simple exposición de su explicación en términos de orbitales nucleares, en los que representa un importante papel el emparejamiento entre el «spin» y la moción orbital en la dinámica nuclear. El libro contiene además un estudio detallado de la sistemática nuclear empírica a la luz de las consideraciones teóricas. Aparte de esto, la obra no cumple sus promesas. Le falta un plan coherente. Los autores se han esforzado por decir un poco de numerosos temas de la física nuclear, pero parecen ignorar muchas veces ciertas aportaciones de gran importancia. El libro sufre de un defecto común a muchas publicaciones americanas: la inexistencia para sus autores de todo trabajo que no se haya publicado en la *Physical*

Review; en este caso las omisiones de lo allí publicado son asimismo numerosas. No sólo son incompletas las referencias a las fuentes originales sino que además los autores han puesto poco cuidado en detalles tales como la exactitud de los nombres y la definición de cantidades físicas. La impresión de las fórmulas matemáticas es tosca y la calidad de las ilustraciones muy desigual: unas veces son claras, pero otras sólo consiguen confundir aquello que precisamente quieren aclarar.

M. H. L. PRYCE

SHARPE, J.: *Nuclear Radiation Detectors.* 179 págs. Methuen and Company Limited, Londres. 1955. 11s. 6d.

Esta breve monografía cubre un campo muy amplio: el conjunto de los modernos detectores de radiaciones usados en la física nuclear y disciplinas afines. Y ésa es precisamente la cuestión más importante que se le plantea al lector: ¿ hasta qué punto es conveniente condensar este estudio al ámbito de una sola monografía?

Si el lector acepta la limitación que impone el espacio al tratar la enorme cantidad de datos conocidos, de poco más puede quejarse en el presente volumen, que contiene una verdadera mina de información.

El contenido está subdividido, de manera original, en cinco capítulos: Interacción de la radiación nuclear y la materia, Medios de detección, Eficiencia de los detectores, Contadores de emisión secundaria y de destello y Mecanismos de ionización. Se trata de una ordenación lógica que avanza paso a paso hacia los instrumentos más complicados. Es de notar que los contadores de destello preceden a los tipos de ionización, lo cual está probablemente justificado por la gran versatilidad de los tipos de destello comparados con los contadores de Geiger y los proporcionales. También se estudian algunos tipos menos conocidos, por ejemplo los contadores de conducción y las cámaras iónicas de rejilla.

Esta obra puede recomendarse como excelente introducción a una materia de gran importancia. Sus lectores hallarán que el precio es reducido, y aquéllos que deseen un estudio más extenso encontrarán que la bibliografía es muy amplia para un volumen tan compacto.

S. C. CURRAN

Annual Review of Nuclear Science. Vols. III–IV. x + 412 y x + 483 págs. Annual Reviews Inc., Stanford, California, en cooperación con el *National Research Council* de la *National Academy of Sciences.* 1953 y 1954. $7 por volumen.

Una de las rarezas menores de la física nuclear es que dos de las publicaciones a ella dedicadas, *Progress in Nuclear Physics* y la presente *Annual Review of Nuclear Science,* dedican sus páginas, la primera a reseñas de publicaciones y la segunda a informes sobre el progreso realizado en esta materia. El método adoptado por los nuevos editores de los volúmenes que ahora reseñamos es que éstos recojan los progresos de varios años.

Es notable la cantidad de investigaciones que se realizan hoy en los estudios nucleares, lo que queda comprobado en los artículos que forman estos dos volúmenes, pocos de los cuales contienen menos de 50 referatas y uno de ellos cerca de 600. Pero la calidad de las investigaciones es variable y muchos artículos abruman al lector con una avalancha de datos, teorías y resultados, sin intentar una valoración crítica de los mismos. Sin embargo, otros artículos dan fe de dicho espíritu crítico y presentan los trabajos reseñados, aunque sea brevemente, sobre el fondo de las investigaciones precedentes.

Pocas ramas hay de la investigación nuclear de que no traten estos volúmenes, cuya presentación es excelente. Con todo, quizás hubieran podido contener más información para el lector no especializado, a quien no le agrada estar consultando continuamente las referencias del fin del libro, lo cual se hubiese evitado haciendo las citas con el nombre del autor y el año, en vez de un simple número de referencia. La mitad de cada volumen trata de la física nuclear, experimental y teórica, y el resto se dedica a la química nuclear, la biología, la medicina y hasta la geología. He aquí un instrumento, a veces de gran eficacia, para ensanchar la mente del científico.

L. R. B. ELTON

QUIMICA

EMMETT, Paul H. (Compilador): *Catalysis,* Vol. II: *Fundamental Principles,* Parte 2. VI + 473 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 94s.

Este segundo volumen de una larga obra escrita en colaboración contiene seis capítulos. El primero es un estudio conciso y valioso de numerosas reacciones de gases y vapores y de los catalizadores efectivos para ellas, tratado todo desde un punto de vista industrial. El segundo trata de los cocientes de difusión y reacción en los poros de los catalizadores y sugiere la manera en que la estructura de los poros puede regular que reacciones son catalizadas por las sustancias porosas. Los tres capítulos siguientes estudian brevemente algunas propiedades de los sólidos — magnéticas, de conducción y semi-conducción eléctrica, de los niveles electrónicos y las dislocaciones reticulares — que pueden influir sobre el poder catalítico, pero cuya función en la catalización no es bien conocida. Las teorías de la velocidad de reacción se estudian en bastante detalle, pero sólo en parte trata el libro de las reacciones en las superficies. En este volumen, como en el primero, se estudia extensamente la adsorción y hasta la adsorción física, que, según se afirma, tiene escasa relación con la catalizacion. Sin embargo, sólo se estudia brevemente la estructura de las capas quemosorbidas y aún menos la forma en que tales capas facilitan las reacciones que no se producen en su ausencia. Hay, por otra parte, un buen estudio de las variaciones aparentes del poder adsorbente en distintas partes de una superficie. Esos capítulos producen la impresión de querer mencionar todo lo que puede estar relacionado con el fenómeno catalítico, incluyendo todas las explicaciones dadas, en vez de evaluar críticamente dichas explicaciones en relación con el funcionamiento mismo de la catalización.

El capítulo final es más coherente y resume bien el aspecto teórico de diversos tipos de reacciones homogéneas catalizadas. La catalización ácido-base está, en especial, muy bien descrita.

Los volúmenes siguientes prometen un estudio detallado de diversos e importantes tipos de catálisis. Esperemos que sean más factuales y menos discursivos que el presente, y que en ellos las teorías se hallen más directamente relacionadas con el fenómeno de la catalización.

N. K. ADAM

HORNING, E. C. (Compilador): *Organic Syntheses, Collective Volume* III. x + 890 págs. Chapman and Hall Limited, Londres: John Wiley and Sons Inc., Nueva York. 1955. 120s.

Los volúmenes de *Organic Syntheses* son obra de consulta obligada cuando los químicos de la presente generación desean preparar en el laboratorio en cantidad una sustancia que no puede adquirirse fácilmente en el comercio. Por consiguiente, la última adición a

esta serie no necesita presentación a nuestros lectores. Los volúmenes separados aparecen con tal regularidad que es difícil darse cuenta de que han pasado ya doce años desde la publicación del Volumen colectivo Nº II.

El Volumen III reune publicaciones de varios años, y el compilador ha tenido buen cuidado de corregir y modernizar el texto, añadiendo referatas hasta 1952. En toda su extensión pueden encontrarse notas adicionales, con valiosos consejos prácticos, preparadas por lectores que han tenido ocasión de repetir sus preparaciones. Además de los acostumbrados índices (muy completos) de los compuestos descritos y de las reacciones tratadas, el compilador ha añadido otro índice — de gran utilidad — de los métodos de preparación y purificación de importantes solventes orgánicos y de reactivos inorgánicos especiales, por ejemplo: ozono, sodamida y catalizadores activos de niquel, platino y paladio.

Todo lector considerará que algunas preparaciones son simples curiosidades de escaso valor intrínseco, pero también todos hallarán en este volumen el método más rápido para obtener una sustancia muy importante y necesaria, o, al menos, una preparación con ella relacionada de la que aquélla se pueda sintetizar rápidamente.

W. A. WATERS

STROUTS, C. R. N., GILFILLAN, J. H. y WILSON, H. N. (Compiladores): *Analytical Chemistry — The Working Tools.* Vol. I: XXI + 494 págs.; Vol. II: IX + 495–1067 págs. Oxford University Press, Londres. 1955. £5 5s. los dos volúmenes.

Un Prefacio del lamentado Sir Wallace Akers dice que estos volúmenes representan «la colección de métodos y técnicas analíticos utilizados normalmente en todos los laboratorios de I.C.I.» Los compiladores son miembros del Comité de Químicos Analíticos establecido por dicha Compañia en 1928, una de cuyas funciones era el examen crítico de los métodos y técnicas, con objeto de mantener cierta normalización en toda la Compañía y sustituir los viejos procedimientos cuando pareciera conveniente. Sin embargo, ésta no es una colección enciclopédica de métodos industriales usados en una gran organización sino un tratado completo sobre el arte y la ciencia del análisis químico.

Los quince capítulos del Volumen I comprenden: exactitud; manipulación; muestreo; peso; calibración y uso de aparatos volumétricos; medidas de temperatura y presión; medidas de densidad y peso específico; determinación del punto de cristalización y del de fusión; destilación y determinación de la gama de destilación; reactivos e indicadores; determinación del *p*H; normalización de soluciones volumétricas; último análisis orgánico cuantitativo; microanálisis orgánico cuantitativo; análisis de gases.

Los nueve capítulos del Volumen II comprenden: titulación potenciométrica; análisis conductométrico; polarografía; electrodeposición, análisis colorimétrico; espectrofotometría; espectrografía de emisión; análisis espectroquímico de rayos X; difracción de rayos X; cromatografía; aplicación de métodos estadísticos al análisis químico.

Aunque el material de los primeros ocho capítulos no puede llamarse nuevo, no cabe la menor duda de la necesidad de reafirmarlo. Toda su exposición revela en este libro el sello de la experiencia; también nos ha impresionado la lucidez de las secciones teóricas. Las referentes al último análisis orgánico cuantitativo y al microanálisis orgánico son bastante completas y autoritativas. Las técnicas del análisis de gases, con las que finaliza el primer volumen, están también tratadas de forma completa.

Los progresos más recientes aparecen en el Volumen II que, por lo general, se refiere a mediciones de propiedades físicas que no son la masa. La característica más valiosa es quizás la final evaluación de una técnica en la sección titulada «Usos y limitaciones». Comúnmente, tanto la técnica como los principios sobre los que se basa es lo que recibe más atención. Pudiera quizás alegarse que todo este material se encuentra ya en otros volúmenes, pero su inclusión nos parece justificada. En esta sección se incluyen más ejemplos prácticos de la aplicación de los métodos, *v.g.*: la espectroscopía de absorción de ultravioleta al análisis cuantitativo. Los ejemplos están tomados de los trabajos realizados en los laboratorios de la Compañía.

El tratamiento del Volumen II es un poco desigual; por ejemplo, el estudio de los usos de la difracción de los rayos X por polvos no indica suficientemente el gran valor de este método en el análisis inorgánico. El capítulo sobre la espectrografía de emisión incluye sólo una corta mención de la excitación de llamas. En esto, como en la omisión de toda noticia sobre la cromatografía de fase de vapores, puede decirse que el libro no está enteramente al día, pero ello es, evidentemente, resultado del intervalo de tiempo necesario para reunir, compilar y publicar tal cantidad de material informativo.

Este libro ha de ser de gran valor a todo analista. Si sirve también para convencer a los jóvenes graduados de las posibilidades de una carrera para aquéllos que sepan someterse a una disciplina analítica, Imperial Chemical Industries habrá realizado un gran servicio.

R. C. CHIRNSIDE

ZOOLOGIA

BUXTON, P. A.: *The Natural History of Tsetse Flies* (Memoria Nº 10 de la London School of Hygiene and Tropical Medicine). XX + 826 págs. H. K. Lewis and Company Limited, Londres. 1955. 84s.

El gran volumen de esta obra no se debe a prolijidad de su autor sino al inmenso cuerpo de investigaciones que resume, realizadas principalmente en Africa, durante los últimos 50 años. Escrita en estilo excepcionalmente lúcido, sin términos técnicos innecesarios, está muy bien producida, ampliamente documentada, contiene un índice extenso y excelentes ilustraciones y está casi totalmente libre de erratas. La concepción de la obra es enciclopédica, y trata, además de todos los aspectos de la biología de la tsetsé, de otros temas — por lo menos brevemente — tales como el clima y la vegetación de Africa y el problema de las especies de tripanosomas. Contiene por tanto numerosas cuestiones que serán útiles a todo entomólogo como texto de referencia. Además de la importancia que la tsetsé tiene desde el punto de vista de la higiene y economía humanas, este libro sirve también de admirable ilustración del enfoque sobre el terreno de un amplio y complejo problema biológico.

En general, el autor no hace referencia a trabajos publicados después del fin de 1952, fecha en que aparecieron publicaciones de gran importancia en relación con dos capítulos de la obra. Es probable que haya que revisar las nociones referentes a la relación entre las poblaciones de tsetsé y el clima. El número de moscas forma una serie con una correlación interna, lo cual complica mucho todo intento de análisis de su relación con el clima. Otra dificultad estriba en las complejas

correlaciones entre los diferentes factores climáticos, pues no todos han sido mensurados. El estudio de la población por el método del marcaje y recaptura — que es principalmente obra de los investigadores de la tsetsé — resulta más complicado de lo que se suponía. Bailey (1951-2) ha demostrado que los métodos normales entrañan parcialidades que, cuando menos, invalidan las pruebas significativas. Parece haber dos temas que pudieran estudiarse con más detalle en *Glossina:* uno es la citología, que podría confirmar o rectificar la taxonomía actual; otro, el estudio por métodos modernos del comportamiento de la mosca. Es posible que ello aclarara nuestro conocimiento del proceso de selección del *habitat.*

O. W. RICHARDS

DHARMAKUMARSINHJI, R. S.: *Birds of Saurashtra — India.* 561 págs. Publicado en Dil Bahar, Bhavnagar, Saurashtra, por el autor. 1955. £5 12s. 6d.

Una de las consecuencias de la marcha de los ingleses de la India ha sido la decadencia de los estudios ornitológicos debido a que en el pasado casi todas las investigaciones sobre las aves indias fueron obra de estudiosos ingleses, con la excepción importante y reciente de Salim Ali. Por lo tanto la publicación de un estudio regional por otro ornitólogo indio debe ser muy bien recibida. Este libro tiene un interés primordialmente local. Saurashtra, la península que se encuentra entre los golfos de Kutch y Cambay, posee una gran variedad de aves costeñas y de regiones pantanosas, y aunque gran parte del interior es seco y matojoso, la selva de Gir produce numerosas formas forestales. El libro se ocupa principalmente de la descripción de cada especie, su distribución, hábitos generales y nidificación. La mayor parte del contenido se basa en observaciones originales y produce la impresión de que el autor tiene gran entusiasmo y competencia y de que sus datos son exactos. La breve introducción es una descripción un tanto cándida. Las láminas en color de Somalal Shah son suficientes para la identificación, pero están agrupadas sin consideración de tamaño, encontrándose a veces muy distantes las especies afines. Las valiosas fotografías tomadas por el autor se refieren tanto al comportamiento aviar como a las especies nunca antes fotografiadas. El gran tamaño del libro, el lujo de producción y el precio recuerdan los libros ingleses sobre aves anteriores a 1914 y sugieren que éste hallará un lugar principalmente en las bibliotecas de los lectores adinerados.

D. LACK

OSMAN HILL, W. C.: *Primates.* Parte 1 — *Strepsirhini.* XXIII + 798 págs. Parte 2 — *Haplorhini.* XX + 347 págs. University Press, Edimburgo. Parte 1, 1953, £5 5s.; Parte 2, 1955, 63s.

El propósito básico del estudio de los primates que ha iniciado el Dr. Osman Hill es presentar en detalle todos los datos conocidos sobre los caracteres externos, esqueleto, cráneo, dentición, musculatura, vísceras, comportamiento y distribución geográfica de cada género. En los dos volúmenes aparecidos (que tratan de los lemúridos, lorísidos y tarsioides vivientes y fósiles) podemos apreciar ya el valioso servicio que el autor ha de prestar a los especialistas en primatología y otras ramas afines: zoólogos, paleontólogos y antropólogos. No se limita esta obra a proporcionar un catálogo completo de los géneros de los primates, sino que se esfuerza además por incorporar amplias definiciones y especificaciones de todas las categorías taxonómicas en todos los niveles de la jerarquía de los primates: órdenes, subórdenes, familias y géneros. Esas secciones del compendio — claramente escritas y bien estructuradas — constituyen por sí mismas una considerable aportación a la anatomía y taxonomía comparadas de los primates, aunque algunos aspectos de la clasificación del Dr. Hill han de originar serias diferencias de opinión. Así, al principio, al definir un primate, el autor no halla justificado ir más allá de las afirmaciones de Mivart (1873) y omite, por lo tanto, al musgaño arbóreo (tupaya) del orden. No da prácticamente razón alguna para justificar esta decisión; y, a nuestro parecer, afirmar que para acomodar a los tupáyidos «es preciso estirar el orden hasta hacerle perder la forma» tiene mucho de hipérbole. La exclusión de las tupayas hace que esta obra pierda cierta utilidad como guía sobre el conjunto de la evolución de los primates. También se aparta el autor de la norma reconocida cuando sigue a Pocock (1918) y asciende los tarsioides de su categoría de pro-simios para aliarlos con los antropoides y formar el grado de los haplorrinos, distinto del de los estrepsirrinos. La posición intermedia y complicada de los tarsioides entre los lemuroides y los antropoides permite, naturalmente, una auténtica diferencia de opinión taxonómica, aunque filogenéticamente es, con toda probabilidad, cierto que todas las escuelas reconocen que los tarsioides siguen una línea de desarrollo definida a partir de unos antepasados no muy alejados de la casta básica de los primates. En efecto, el verdadero significado de la afirmación de que los antropoides tienen antepasados «tarsianos» o «tarsioides» jamás ha sido muy claro. El Dr. Hill no dice mucho sobre este problema, lo cual es quizás comprensible pues una controversia de tal tipo hubiera disminuído el valor de una obra de esta clase. Los dos tomos recientemente publicados, de muy bella presentación, nos hacen creer que cuando el Dr. Hill haya completado su tarea habrá dado a luz una obra cuya necesidad se ha sentido durante mucho tiempo: un estudio fundamental sobre los primates, bien al día, bien informado, bien ilustrado y bien documentado.

J. S. WEINER

MARSHALL, S. M. y ORR, A. P.: *The Biology of a Marine Copepod.* VII + 188 págs. Oliver and Boyd Limited, Londres. 21s.

En 1770, el Obispo Gunnerus de Nidaros (Trondheim) dió nombre a un pequeño crustáceo marino del norte de Noruega, bautizándolo *Monoculus finmarchicus*, e incluyéndolo en los *Insecta Aptera* de Linneo. Esa era la primera vez que la ciencia se ocupaba de lo que es, quizás, el más común de los animales marinos y alimento importantísimo de los peces pelágicos, incluyendo el arenque, y ciertas ballenas. La estructura, fisiología, ontogenia y costumbres de *Calanus finmarchicus*, como hoy se le denomina, es tema de gran interés en todos los estudios relacionados con la biología marina y las investigaciones relativas a la pesca. Durante los últimos 30 años, *Calanus* ha sido tema principal en las investigaciones de dos miembros del personal del laboratorio de la *Scottish Marine Biological Association* en Millport. En este libro, dichos investigadores han recogido los frutos de sus labores y presentan el primer estudio completo de todos los aspectos de la vida de un crustáceo copépodo marino. Es una admirable producción por la que tanto los autores como el editor merecen ser felicitados, representando una contribución importante a la literatura sobre biología marina y sobre los crustáceos.

C. M. YONGE

Libros recibidos

(*Nota.* La mención de un libro en esta sección no excluye su futura revista.)

AGRICULTURA

The Annual Report of the Agricultural and Horticultural Research Station (The National Fruit and Cider Institute), Long Ashton, Bristol, 1954. 207 págs. University of Bristol, 1955. 15s.

BIOGRAFIA

BRODA, E.: *Ludwig Boltzmann.* VIII + 152 págs. Franz Deuticke, Viena. 1955. En rústica DM. 9,50; en pasta DM. 11.

PAULI, W., ROSENFELD, L., y WEISSKOPF, V. (Compiladores): *Niels Bohr and the Development of Physics.* VII + 195 págs. Pergamon Press Limited, Londres. 1955. 30s.

BIOLOGIA

BISSET, K. A.: *The Cytology and Life-History of Bacteria* (2ª edición). XII + 164 págs. E. and S. Livingstone Limited, Edimburgo y Londres. 1955. 25s.

MICHAELIS, A. R.: *Research Films in Biology, Anthropology, Psychology and Medicine.* XVI + 490 págs. Academic Press Inc., Nueva York. 1955. $10.

PIVETEAU, J. (Compilador): *Traité de Paléontologie*, Vol. V. *Amphibiens, Reptiles, Oiseaux.* 1113 págs. Masson et Cie, París. 1955. En rústica Frs. 12 000; en pasta Frs. 12 800.

POPHAM, E. J.: *Some Aspects of Life in Fresh Water.* VIII + 123 págs. William Heinemann Limited, Londres. 1955. 6s.

CIENCIA GENERAL

von FREBERG, Bruno: *Erlanger Forschungen*, Vol. I. Serie B: *Naturwissenschaften (Johann Gottlob Lehman* (1719–1767)). 159 págs. Universitätsbibliothek, Erlangen. 1955. DM. 12,80.

CRISTALOGRAFIA

ANDERSON, B. W.: *Praktische Edelstein-Prüfung.* 262 págs. Ruhle-Diebener-Verlag K.G., Stuttgart. 1955. DM. 24,60.

DEKEYSER, W. y AMELINCKX, S.: *Les Dislocations et la Croissance des Cristaux.* VIII + 184 págs. Masson et Cie, París. 1955. Frs. 2000.

TOLANSKY, S.: *Microstructures of Diamond Surfaces.* VIII + 67 págs. N.A.G. Press Limited, Londres. 1955. 40s.

FISICA

ANDREW, E. R.: *Nuclear Magnetic Resonance.* XI + 265 págs. Cambridge University Press, Londres. 1955. 35s.

Fifth Symposium (International) on Combustion. XXVI + 802 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 120s.

FRIEDLANDER, G. y KENNEDY, J. W.: *Nuclear and Radiochemistry.* IX + 468 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 60s.

HALLIDAY, D.: *Introductory Nuclear Physics* (2ª edición). IX + 493 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 60s.

JACKSON, L. C.: *Low Temperature Physics.* VIII + 158 págs. Methuen and Company Limited, Londres; John Wiley and Sons Inc., Nueva York. 1955. 10s. 6d.

LITTLER, D. J. y RAFFLE, J. F.: *An Introduction to Reactor Physics.* VIII + 196 págs. Pergamon Press Limited, Londres. 1955. 25s.

ROSENFELD, L. (Compilador): *Nuclear Physics.* Vol. I, No. I. 72 págs. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 1956. Precio de la subscripción para un volumen (700 págs.). 106s.

WOODS, H. J.: *Physics of Fibres.* 100 págs. The Institute of Physics, Londres. 1955. 30s.

GEOLOGIA

GIGNOUX, M.: *Stratigraphic Geology.* Traducido por G. G. Woodford. XVI + 682 págs. W. H. Freeman and Company, San Francisco; Bailey Brothers and Swinfen Limited, Londres. 1955. 80s.

INGENIERIA

SEYMOUR, R. B. y STEINER, R. H.: *Plastics for Corrosion-Resistant Applications.* XVI + 423 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 60s.

MATEMATICAS

FINNEY, D. J.: *Experimental Design and its Statistical Basis.* XI + 169 págs. Cambridge University Press, Londres. 1955. 30s.

MEDICINA

CALI, A.: *Basi Teoriche e Sperimentali per una Patogenesi enzimatica dell'Arteriosclerosi.* 107 págs. Libreria Natale Simonelli Editrice, Perusa. 1955. 800 liras.

METALURGIA

MCQUILLAN, A. D. y MCQUILLAN, M. K.: *Titanium — Metallurgy of the Rarer Metals, No.* 4. XIX + 466 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1956. 56s.

QUIMICA

BALDWIN, E. y BELL, D. J.: *Cole's Practical Physiological Chemistry.* X + 263 págs. W. Heffer and Sons, Cambridge. 1955. 21s.

BRITTON, H. T. S.: *Hydrogen Ions.* Vol. I (4ª edición). XIX + 476 págs. Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 70s.

DAUVILLIER, A.: *Cosmologie et Chimie.* VIII + 215 págs. Presses Universitaires de France, París. 1955. Frs. 900.

EMMETT, P. H. (Compilador): *Catalysis.* Vol III. VII + 504 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 100s.

KRZIKALLA, R.: *Rechentafeln zur Chemischen Elementar-Analyse.* 232 págs. Verlag Chemie G.m.b.H., Weinheim/Bergstr. 1956. DM. 12.

OSBORN, G. H.: *Synthetic Ion-Exchangers.* IX + 419 págs. Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 30s.

VAN SOMEREN, E. H. S. y LACHMAN, F.: *Spectrochemical Abstracts.* Vol. IV. 1946–1951. 179 págs. Hilger and Watts Limited, Londres. 1955. 30s.

WESTERFELD, W. W. (Compilador): *Biochemical Preparations.* Vol. IV. VII + 108 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 30s.

ZOOLOGIA

KEVAN, D. K. McE. (Compilador): *Soil Zoology. (Proceedings of the University of Nottingham Second Easter School in Agricultural Science*, 1955). XIV + 512 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres; Academic Press Inc., Nueva York. 1955. 55s.

SCOTT, P. y BOYD, H. (Compiladores): *The Wildfowl Trust, Seventh Annual Report*, 1953–1954. 235 págs. The Country Life Limited, Londres. 1955. 10s.

Notas sobre los colaboradores

ALFRED LANDÉ

Nació en Elberfeld, Alemania, en 1888, y estudió en Marburg, Göttingen y Munich. Desde 1920 a 1922 fué Privatdozent en Frankfurt y desde 1922 a 1931 Catedrático de Física en Tubingia. Desde esa fecha es Catedrático de Física de la Universidad del Estado de Ohio. Sus investigaciones se han referido principalmente a la estructura atómica y a la teoría quántica, líneas espectrales, efecto de Zeeman y teoría de los multipletes.

J. W. S. PRINGLE

Nació en Mánchester en 1912 y estudió en el *King's College* de Cambridge. Desde 1945 es profesor de zoología en dicha Universidad. Sus investigaciones se han centrado en la fisiología de los nervios y músculos de los insectos.

A. T. JAMES

Nació en Cardiff en 1922 y estudió en la Universidad de Londres. Después de realizar investigaciones en el *Bedford College* de la misma sobre las drogas antipalúdicas, pasó al *Lister Institute*. En 1950 se unió a A. J. P. Martin en el Instituto Nacional de Investigaciones Médicas y desarrolló con él el método de la cromatografía gas-líquido que ahora emplea para el estudio del metabolismo de las grasas.

LORD ROTHSCHILD

Nació en 1910 y estudió en Harrow y en el *Trinity College* de Cambridge, de cuyo profesorado pasó más tarde a formar parte. En la actualidad es Subdirector de Investigaciones del Departamento de Zoología de la Universidad de Cambridge, donde realiza estudios sobre la fisiología del huevo, del espermatozoo y de la fertilización. Es Presidente del Consejo de Investigaciones Agrícolas desde 1948.

L. ESSEN

Nació en 1908 y estudió en la Universidad de Nottingham, ingresando luego en el *National Physical Laboratory* en 1929. El oscilador de anillo de cuarzo por él inventado se usa hoy en los observatorios más importantes y en los laboratorios de normalización de todo el mundo. Durante la guerra ideó técnicas de medición de frecuencias de microondas que ha venido después aplicando para la determinación de constantes fundamentales y, especialmente, para la construcción de un patrón atómico de frecuencias e intervalos de tiempo.

SIR ROBERT ROBINSON

Nació en 1886 y estudió en la Universidad de Mánchester. Fué nombrado Catedrático de Química Orgánica de la Universidad de Sydney en 1912, ocupando desde entonces diversas cátedras; de 1930 a 1955 fué Catedrático de Química de la Universidad de Oxford. En la actualidad es un colaborador de la Shell Chemical Company Limited. Sus trabajós científicos han tratado de la estructura y síntesis de productos naturales como los alcaloides y las antocianinas y de la aplicación de las teorías electrónicas a los mecanismos de la reacción. Ha sido Presidente de la *Royal Society* y de la *Chemical Society*. En 1955 fué Presidente de la *British Association for the Advancement of Science*.